



UNITE DE RECHERCHE  
IRIA-ROCCOUECOURT

Institut National  
de Recherche  
en Informatique  
et en Automatique

Domaine de Voluceau  
Rocquencourt  
BP 105  
78153 Le Chesnay Cedex  
France  
Tel (1) 39 63 55 11

# Rapports Techniques

N° 107

## *Programme 7*

### **LA CONCEPTION DESCENDANTE APPLIQUEE A LA REALISATION CONCRETE DES MAILLAGES**

**Paul Louis GEORGE**

**Avril 1989**



**LA CONCEPTION DESCENDANTE APPLIQUEE A LA  
REALISATION CONCRETE DES MAILLAGES**

**Paul Louis GEORGE**

# La conception descendante appliquée à la réalisation concrète des maillages

P.L.George

INRIA Domaine de Voluceau- Rocquencourt BP 105 -78153 LE CHESNAY FRANCE

## **Résumé** Conception et réalisation de maillages

*Ce rapport présente, à travers un exemple concret, la méthodologie de conception et de création de maillages en vue de simulation par la méthode des Eléments Finis. Il décrit rapidement les outils de la bibliothèque Modulef permettant de construire et de modifier des maillages.*

*Ce document constitue le support des travaux dirigés du cours Modulef consacré aux maillages ( 30 mai 1989 ).*

## **Abstract** Design and creation of meshes

*Describing the practical description to be used for the purpose of generation of meshes through the modules of the Modulef library, this report is the proceeding of the session ( 1989 may 30 ) devoted to this topic.*

## Sommaire

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Généralités</b>	<b>1</b>
2.1	Générateurs de maillages en dimension 2 . . . . .	1
2.2	Générateurs de maillages en dimension 3 . . . . .	2
2.3	Programmes de manipulation de maillages . . . . .	2
2.4	Les données à fournir . . . . .	3
2.4.1	Nature des données . . . . .	3
2.4.2	Construction des données . . . . .	4
2.5	Méthodologie adaptée . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Analyse de la géométrie</b>	<b>5</b>
3.1	Premières remarques . . . . .	5
3.2	Analyse de la partie supérieure . . . . .	5
3.3	Analyse de la partie inférieure . . . . .	7
3.4	Analyse de la partie caoutchouc . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Maillage de la partie supérieure</b>	<b>9</b>
4.1	Maillage 2D de la trace 1 . . . . .	9
4.2	Maillage 2D de la trace 2 . . . . .	11
4.3	Maillage 3D du dessus . . . . .	11
<b>5</b>	<b>Maillage de la partie inférieure</b>	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>Maillage du joint caoutchouc</b>	<b>12</b>
6.1	Définitions liées à la géométrie . . . . .	12
6.2	Découpage en blocs . . . . .	13
6.3	Traitement d'un bloc . . . . .	13
6.4	Les autres blocs . . . . .	14
6.4.1	bloc numéro 2 . . . . .	14
6.4.2	bloc numéro 3 . . . . .	15
6.4.3	bloc numéro 4 . . . . .	15
6.4.4	bloc numéro 5 . . . . .	16
6.4.5	bloc numéro 6 . . . . .	16
6.4.6	bloc numéro 7 . . . . .	16
6.5	Le maillage du 1/24 ième et le maillage total . . . . .	16
<b>7</b>	<b>Le domaine complet</b>	<b>17</b>
<b>8</b>	<b>Annexe: Valeurs numériques et programmes d'appel</b>	<b>17</b>
8.1	Fichier de commandes 2D . . . . .	17
8.2	Fichier de commandes pour le dessus . . . . .	19

8.3	Programme d'appel pour le bloc 1 du joint . . . . .	21
8.4	Programme d'appel pour tout le joint . . . . .	24
8.5	Fichiers de commandes pour tout le joint . . . . .	39
<b>9</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>42</b>

## 1 Introduction

La simulation numérique par la méthode des Eléments Finis du comportement du différentiel homocinétique, présenté par la suite, nécessite sa discrétisation en éléments finis donc, dans une première étape, la construction de son maillage .

Cet exemple nous servira à présenter la façon de procéder pour obtenir le maillage d'un domaine. Il servira de support pratique à la description de la méthodologie de conception et à celle des différents outils de la bibliothèque Modulef dévolus à ce type de problème ( modules de création et modules de manipulation de maillages ).

Ce rapport, ayant un but pédagogique, pourra paraître relativement élémentaire à un lecteur expérimenté. Il a pour objet de guider toute personne désirant aborder de manière pratique le problème du maillage tel qu'il est conçu dans l'approche Modulef.

Plusieurs parties seront développées qui présenteront :

- la méthode d'analyse des domaines à mailler en fonction, en particulier, des algorithmes disponibles.
- les algorithmes de génération de maillages tant en dimension 2 qu'en dimension 3.
- les programmes de manipulation de maillages.
- l'exemple de ce joint réducteur avec les différentes phases de son traitement ( les valeurs numériques à fournir seront données ).

## 2 Généralités

Pour une description détaillée des algorithmes de maillages et de manipulations de maillages nous renvoyons à [1],[4],[3]. Pour l'aspect utilisation de ces outils nous renvoyons à [2]. Dans cette section nous allons néanmoins rappeler les notions essentielles ayant trait au problème du maillage.

### 2.1 Générateurs de maillages en dimension 2

Quatre classes de générateurs sont disponibles dans le code Modulef pour la création de maillages en dimension 2.

1. Définition manuelle. A partir de la donnée de toutes les informations constitutives d'un maillage, le programme ( CONOPO ) construit la Structure de Données associée à celui-ci. Cette approche convient dans le cas où peu d'éléments sont à créer ( il faudra en effet les décrire un à un ). Le maillage résultat pourra par la suite être, par exemple, redécoupé afin d'obtenir un recouvrement plus fin et plus fidèle du domaine.
2. Méthode de "mapping". Par cette approche on pourra créer le maillage de tout domaine de topologie simple ( un triangle ( COLIB2 ) ou un quadrangle ( QUACOO ) déformé ). La partition du domaine sera liée à la position et aux nombres de points présents sur son contour. La donnée de ce mailleur est le contour de ce domaine.

3. Méthode frontale. Adaptée aux géométries à priori quelconques, ce mailleur ( TRIGEO ) va construire le recouvrement du domaine en triangles, à partir des points de son contour. Il utilise comme donnée ce contour.
4. Méthode de Voronoï. Pour des géométries absolument quelconques, ce mailleur ( TRIHER ) permet de construire le recouvrement en triangles, à partir, encore une fois, des points décrivant le contour du domaine.

## 2.2 Générateurs de maillages en dimension 3

Cinq classes de générateurs sont disponibles dans le code Modulef pour la création de maillages en dimension 3.

1. Définition manuelle. A partir de la donnée de toutes les informations constitutives d'un maillage, le programme ( CONOPO ) construit la Structure de Données associée à celui-ci. Cette approche convient dans le cas où peu d'éléments sont à créer ( il faudra en effet les décrire un à un ). Le maillage résultat pourra par la suite être, par exemple, redécoupé afin d'obtenir un recouvrement plus fin et plus fidèle du domaine.
2. Méthode de "translation-empilement". Par cette approche ( MA2D3D ) on pourra créer le maillage de tout domaine de topologie cylindrique à partir de la connaissance d'un maillage 2D de référence dont seront déduites les différentes couches d'éléments 3D. La donnée de ce mailleur est donc le maillage 2D et la définition des sections le long du "cylindre".
3. Méthode de type différences finies. Adaptée aux géométries de type cubique, ce mailleur ( GEL3D1 ) va construire le recouvrement du domaine, en hexaèdres ( qui pourront être redécoupés par la suite ) à partir de la donnée de points selon 3 directions.
4. Méthode de blocs. Pour des géométries quelconques, ce mailleur ( COLIB2 ) permet de construire le recouvrement en éléments finis à partir du découpage structuré d'un maillage grossier du domaine composé de blocs de géométrie simple ( lignes, triangles, quadrangles, tétraèdres, pentaèdres, hexaèdres ). Ce découpage est guidé par la présence de points sur les arêtes du maillage grossier.
5. Mailleur de surfaces dans l'espace. A partir d'un maillage 2D et d'une fonction de projection dans l'espace, ce mailleur ( TN2D3D ) génère le maillage surfacique correspondant.

Le code Modulef offre également d'autres outils de création de maillages adaptés à certains cas particuliers ( Poutres, raccords, charnières ... )

## 2.3 Programmes de manipulation de maillages

Plusieurs types de manipulations sont possibles: les transformations géométriques usuelles, des transformations topologiques, le recollement de maillages, les modifications propres aux éléments finis et enfin la visualisation sous différentes formes.

1. Modifications géométriques. Elles permettent ( MODNOP ) d'obtenir le maillage déduit par translation, symétrie, rotation, dilatation d'un maillage initial.
2. Découpage local ou global. Dans cet esprit on peut affiner localement ( AFFNOP ) un maillage 2D, redécouper tous les éléments d'un maillage ( RETRIN ), couper les quadrangles d'un maillage 2D ou 3D en triangles ( QUA4TR ) ou couper les éléments non tétraédriques d'un maillage 3D en tétraèdres ( DTRI3D ).

3. Recollement de 2 maillages. On crée ( RECOLC ) le maillage résultant de la juxtaposition des 2 maillages initiaux par identification des zones de contact communes ( points, arêtes et faces ).
4. Régularisation. En dimension 2 le module (REGMA2) utilise une technique de barycentrage pour régulariser un maillage.
5. Manipulations diverses. Définition des noeuds ( ADPNOP ) s'ils diffèrent des sommets et, éventuellement, la renumérotation ( GIBBS ) des noeuds et des éléments du maillage est généralement très utile.
6. ....

## 2.4 Les données à fournir

Les données sont, du point de vue formel, définies de manière arborescente. Plus précisément elles sont organisées selon une hiérarchie croissante: les items simples servant à définir les items plus complexes.

Du point de vue pratique, en fonction du mailleur utilisé, les données seront effectivement rentrées dans des fichiers de commandes ( ceci correspond au cas où un préprocesseur associé au(x) module(s) utilisé(s) existe ) ou en tant que variables définies dans les programmes d'appel des modules ( ceci correspond au cas où un appel direct est soit préférable, soit indispensable ).

### 2.4.1 Nature des données

Selon le module à appeler, les données consistent en tout ou partie de :

1. Une liste de *Points caractéristiques*. Ils sont connus via leur 2 ( ou 3 ) coordonnées et leur numéro de référence.
2. Une liste de *Lignes caractéristiques*. Elles sont construites à partir des points précédemment définis. Cette description concerne leur géométrie, précise leur numéro de référence et indique leur partition en sous-segments.
3. Une liste de *Faces*. Elles sont décrites via les items ci-dessus, un numéro de référence leur est associé.
4. Des *Contours*. Un contour ( dimension 2 ) est l'union de lignes caractéristiques, il sert à définir un domaine à mailler, à celui-ci sera affecté un numéro de sous-domaine.
5. Des *Volumes*. Ils seront définis au travers des items de rang inférieur.
6. Des *Maillages préexistants*. Ceux-ci serviront de données pour l'opération envisagée ( transformations géométriques ou topologiques ).

Outre ces types de données, l'utilisateur devra fournir les fonctions nécessaires ( sous forme de *Fonctions Interprétées* ou *Function* ou *Subroutine* ) et les sous-programmes demandés.

L'appel des modules de maillages se fera soit sous forme interactive ( en dimension 2 et en dimension 3 dans certains cas ), soit sous forme "batch" ( en dimension 3, en particulier quand les données sont paramétrées ).



### 2.4.2 Construction des données

Dans [2],[5] sont décrits les modules de maillages et les préprocesseurs possibles. En fonction de cette description, l'utilisateur devra :

- Faire exécuter le préprocesseur choisi.
  1. Créer un fichier de commandes, faire exécuter le module à partir des commandes et valeurs contenues dans ce dernier.
  2. Fournir les valeurs utiles, le module étant exécuté aussitôt.
- Ecrire un programme d'appel du module choisi conformément à sa description [2].

### 2.5 Méthodologie adaptée

Pour créer un maillage l'approche Modulef se base sur la *conception descendante* et sur la *réalisation ascendante*. Cette façon de procéder présente de nombreux avantages: un domaine complexe est décomposé en sous-parties plus simples et bien adaptées aux algorithmes de maillages, chacune de ces parties est décrite de nouveau de façon descendante (volumes, faces, lignes puis points). Ensuite la réalisation part des définitions les plus basses pour remonter aux items de rang plus élevés: on construit d'abord le maillage des parties simples puis, pas à pas, on reconstruit l'objet final.

Cette méthode assure de manière évidente une garantie sur le résultat final au sens où si les maillages "simples" sont corrects, le maillage final l'est aussi.

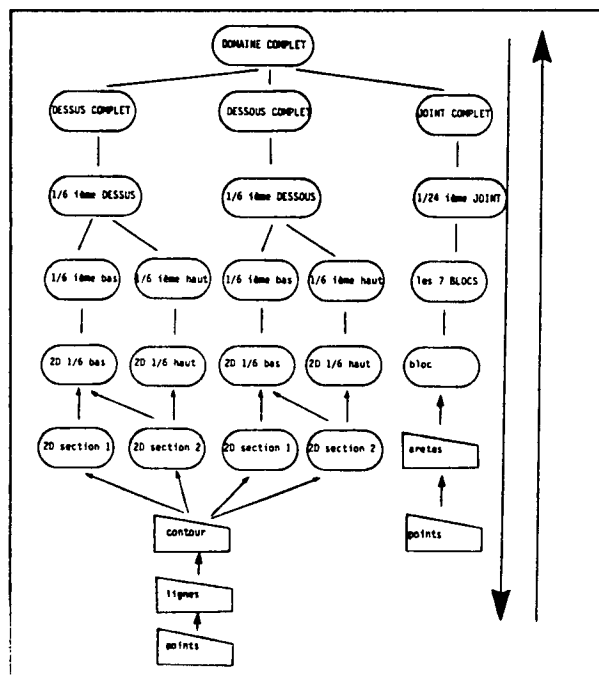


Figure 1: Conception descendante et construction ascendante

### 3 Analyse de la géométrie

Le domaine à mailler est présenté sur les figures (2 a-b) . Il comprend 3 parties: une partie supérieure, un joint caoutchouc et une partie inférieure.

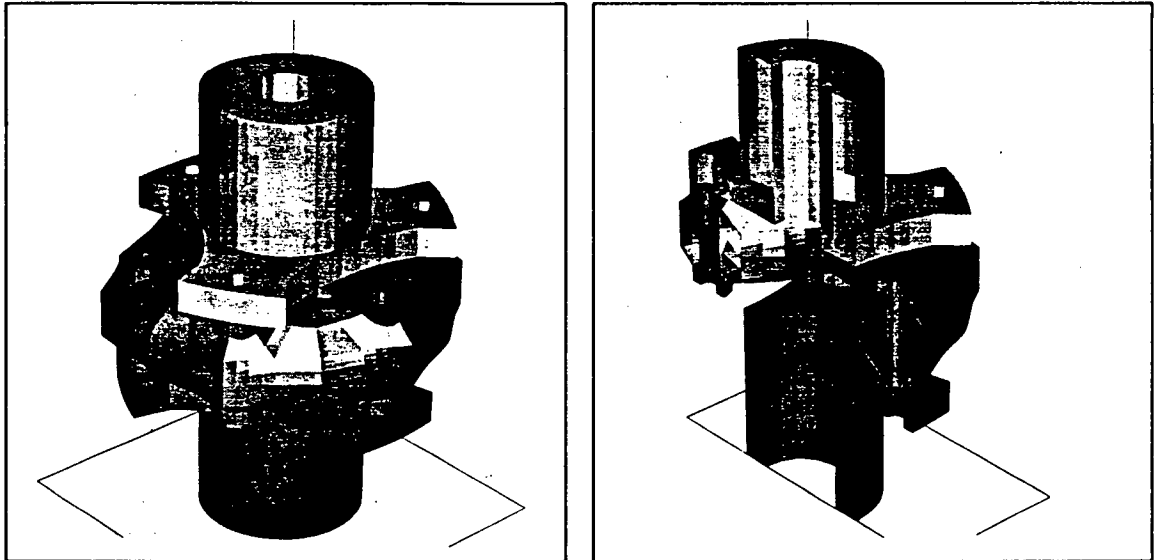


Figure 2: Le domaine à mailler et une coupe

#### 3.1 Premières remarques

Suite à la méthodologie exposée ci-dessus, nous allons analyser le domaine en termes descendants. La pièce est composée de trois parties: la partie supérieure, le joint caoutchouc et la partie inférieure. Pour chacun de ces ensembles nous allons tenir compte des répétitivités géométriques évidentes qui sont présentes.

1. La partie inférieure est topologiquement identique à la partie supérieure : ainsi, son maillage sera déduit de celui de cette dernière après modifications des paramètres définissant le trou cylindrique intérieur, seule différence existante.
2. La partie supérieure présentant des symétries et des rotations pourra être obtenue à partir simplement de son 1/6 ième.
3. Ce 1/6 ième est un "cylindre", son maillage 3D pourra se deduire d'un maillage 2D de sa section inférieure.
4. Le joint caoutchouc présente également de nombreuses symétries et rotations, par suite seul le 1/24 ième de cet ensemble sera effectivement à mailler.

#### 3.2 Analyse de la partie supérieure

Suite aux remarques ci-dessus, pour mailler le dessus ( voir la figure (3 a) ), on ne doit traiter que le 1/6 ( voir la figure (3b) ). Pour construire celui-ci on va creer le maillage de sa section inférieure ( voir la figure (4) ).

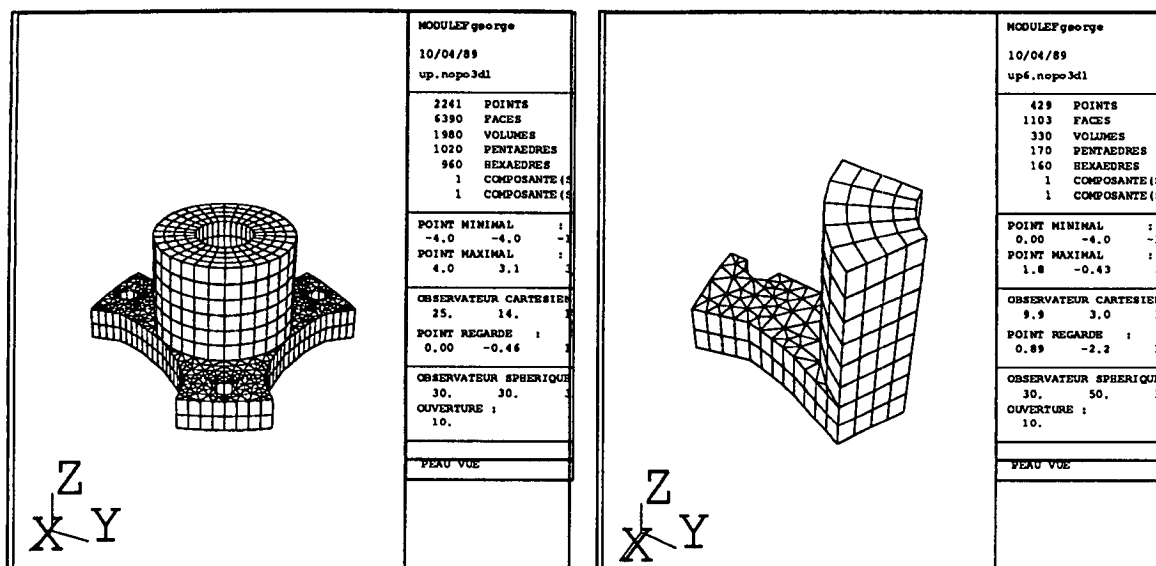


Figure 3: Le dessus complet et son 1/6 ième à mailler

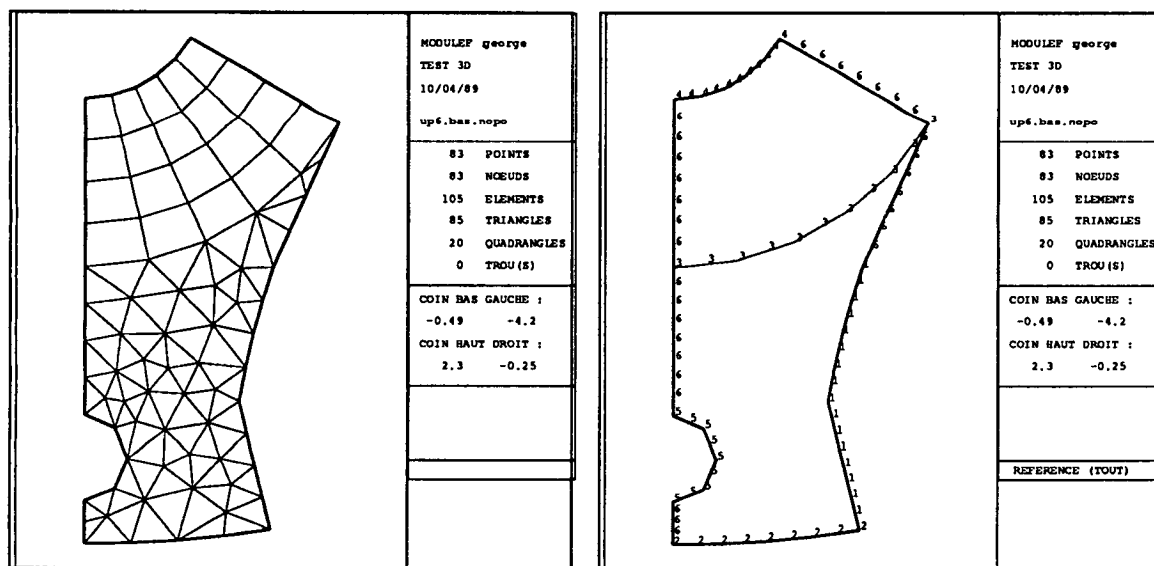


Figure 4: La section 2D à considerer et les références géométriques

### 3.3 Analyse de la partie inférieure

On a vu que cette partie s'obtient comme le dessus donc à partir de la section 2D suivante ( voir la figure (5) ). Seul le rayon du cercle est à modifier.

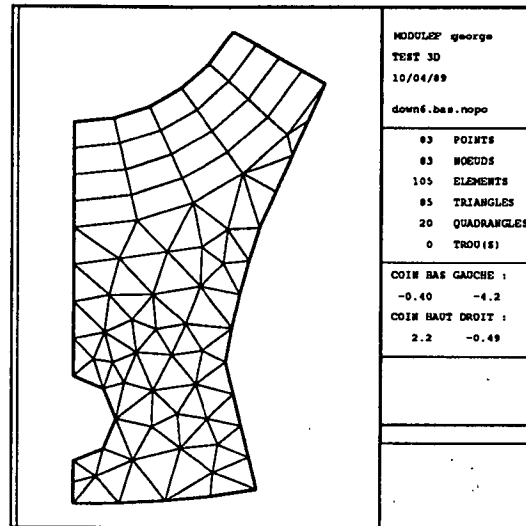


Figure 5: La section 2D du dessous

### 3.4 Analyse de la partie caoutchouc

Suite aux remarques ci-dessus, pour mailler le joint ( voir la figure (6a) ), on ne doit traiter que le 1/24 de celui-ci ( voir la figure (6b) et la section 6.1 ).

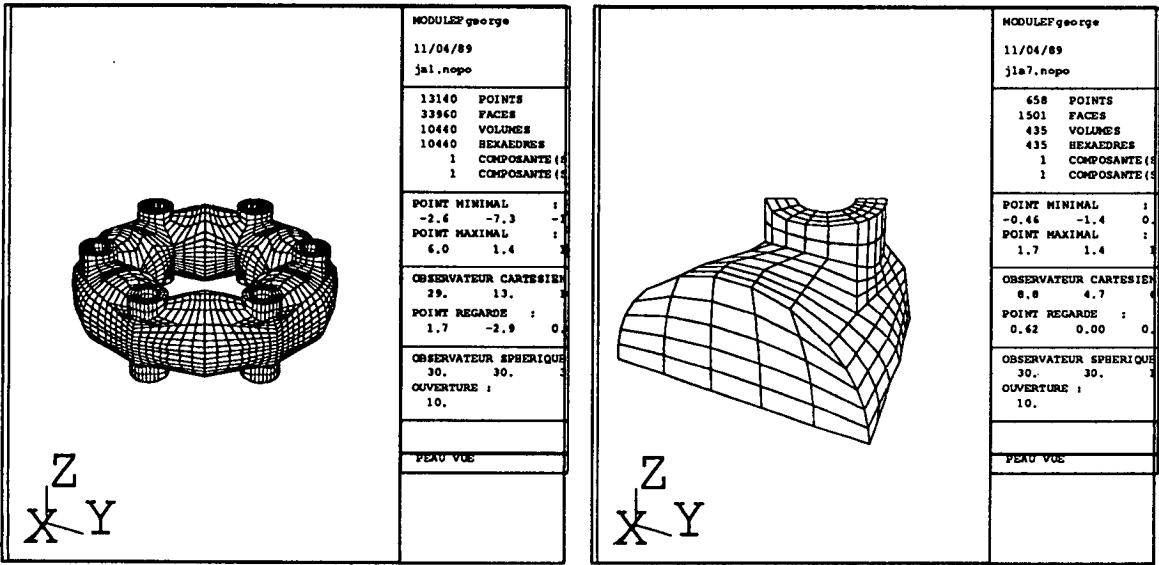


Figure 6: Le joint complet et son 1/24 ième à considerer

## 4 Maillage de la partie supérieure

Pour créer le maillage du dessus, en fait de son 1/6 ième, il suffit de construire le maillage 2D de sa section de base puis d'en déduire les éléments 3D correspondants par empilement le long de ses sections.

Compte tenu de la géométrie, il faut prévoir 2 maillages 2D: celui associé à la partie centrale ( autour du trou cylindrique , voir figure (7) ) dont on déduira une dizaine de couches et celui de l'autre partie ( voir figure (8) ) dont on déduira une ou deux couches. Le raccord entre ces 2 maillages est à prévoir pour permettre un recollement correct, par suite 2 maillages seront sauvés.

### 4.1 Maillage 2D de la trace 1

Cet ensemble est découpé en 2 sections ( S1 et S2 ) que l'on maille en un seul jet. On sauvera séparément la section 1 et le recollement des sections 1 et 2 de manière à pouvoir créer le maillage 3D adéquat.

Pour traiter les sections 1 et 2 on va utiliser les mailleurs TRIHER et QUACOO. Ils partent du contour des domaines à mailler. TRIHER n'implique pas d'hypothèses particulières tandis que QUACOO part d'une discrétisation du contour sous la forme de *quatre* cotés. Ces derniers seront des lignes ou des unions de lignes, ils devront avoir le même nombre de points dans leur description ( pour les coté 1 et 3 d'une part et 2 et 4 d'autres part ).

Les lignes constitutives du contour sont construites à partir de leurs extrémités. Celles-ci sont des points caractéristiques. La géométrie de ces lignes peut être définie par :

- une ligne droite
- une équation de courbe
- un ensemble de points caractéristiques

Entre les extrémités des lignes on va demander la création de points intermédiaires. Ceux-ci permettront une représentation plus fidèle du contour et impliqueront une partition plus fine pour le maillage. Ces points sont :

- créés automatiquement sur la droite ou la courbe selon une répartition donnée.
- fournis en totalité.

En annexe on donne le fichier de commandes relatif à cette création de maillage 2D. Le préprocesseur APNOXX ( module APNOPO ) est employé pour créer ces données puis pour activer les modules sollicités. On remarquera les séquences suivantes :

1. Utilisation du mot-clé COUR pour définir les équations des courbes.
2. Utilisation du mot-clé POIN pour rentrer les points caractéristiques.
3. Utilisation du mot-clé LIGN pour saisir les lignes du contour.( pour celles correspondant aux courbes, on renvoie à leurs équations via leur code de géométrie ( NFFRON ) et leur numéro de référence ( NOREFL ). Sur la corde associée aux 2 extrémités de ces lignes seront créés des points intermédiaires qui seront projetés sur la courbe de numéro NOREFL.

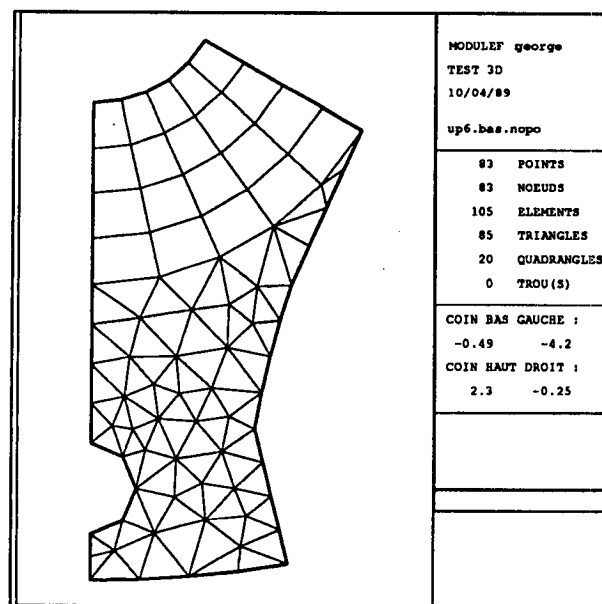


Figure 7: Premier maillage 2D

4. Utilisation du mot-clé TRIH pour mailler la section 2 dont on donne les lignes du contour dans le sens trigonométrique ( ceci permet de préciser les notions d'intérieur et d'extérieur).
5. Utilisation du mot-clé REGU pour régulariser ce maillage.
6. Utilisation du mot-clé QUAC pour mailler la section 1 définie via les 4 lignes de son contour.
7. Utilisation du mot-clé RECO pour recoller les sections 1 et 2 .
8. Utilisation du mot-clé SAUV pour sauver ce résultat sur fichier.
9. Utilisation du mot-clé SAUV pour sauver la section 1 sur fichier.

#### Quelques exercices :

- Exercice 1. Utiliser le mailleur TRIHER au lieu du mailleur QUACOO pour mailler la section 1, Faire varier le nombre de points sur les lignes du contour et modifier leur répartition de manière à étudier l'influence de ces changements sur le nombre et la taille des triangles générés.
- Exercice 2. Utiliser le mailleur COLIB2 ( en dimension 2 ou 3 ) pour traiter ce problème.
- Exercice 3. Au lieu de prendre des fonctions interprétées, écrire la sous-routine FFRONT ( création via QUACOO ou TRIHER ) correspondante.
- Exercice 4. Voir le résultat fourni par le mailleur TRIGEO.
- Exercice 5. Mailler le 1/3 et non plus le 1/6 de cette section, dans ce cas le domaine présente un trou, on utilisera le mailleur TRIHER avec cette option.
- Exercice 6. Obtenir par rotations et recolllements le maillage de toute la section 2D ( tant pour sa partie 1 que pour sa partie 2 ).

- Exercice 7. Mailler via TRIHER la section 2 en forçant quelques points internes.
- Exercice 8. Affiner le maillage via AFFNOP au voisinage du trou du boulon.
- Exercice 9. Définir un élément différent du triangle à 3 noeuds, renuméroter les noeuds du maillage résultant ( ADPNOP et GIBBS ).

## 4.2 Maillage 2D de la trace 2

En fait ce maillage n'est que la sauvegarde séparée de la section 1 du premier maillage construit ci-dessus.

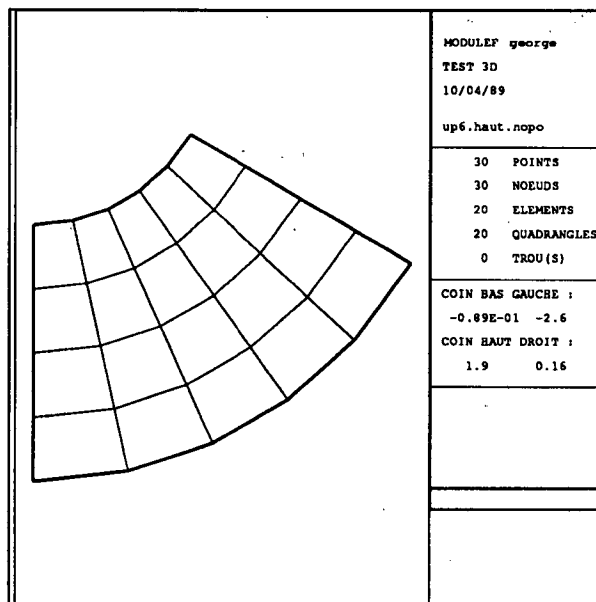


Figure 8: Deuxième maillage 2D

## 4.3 Maillage 3D du dessus

Il consiste à monter ( MA2D3D ) les 2 maillages 2D précédents, à recoller ces 2 résultats, à effectuer une symétrie par rapport au plan  $Y=0$  , à demander 2 rotations autour de l'axe des Z de + et - 120 degrés de ce résultat et enfin à recoller ces 3 ensembles.

En annexe on donne le fichier de commandes relatif à cette création de maillage 3D. Le préprocesseur APN3XX ( APNOP3 ) est employé. On remarquera les sequences suivantes :

1. Utilisation du mot-clé INTR pour introduire en mémoire centrale les maillages 2D.
2. Utilisation du mot-clé MA23 pour creer les maillages 3D.
3. Utilisation du mot-clé RECO pour recoller ces 2 derniers maillages.
4. Utilisation du mot-clé SYMP pour mailler le symétrique.
5. Utilisation du mot-clé RECO pour recoller celui-ci avec le precedent.
6. Utilisation du mot-clé ROTA pour effectuer les 2 rotations.



7. Utilisation du mot-clé RECO pour construire le maillage final.
8. Utilisation du mot-clé SAUV pour sauver ce résultat sur fichier.

*Quelques exercices :*

- Exercice 1. Utiliser directement le préprocesseur MA23XX pour créer les cylindres de départ.
- Exercice 2. Obtenir en une seule montée le maillage du dessus ( à partir des maillages 2D de l'exercice 6 ci-dessus ).
- Exercice 3. En négligeant les trous des boulons et en supposant que les 3 branches sont remplacées par un simple plateau, utiliser le mailleur MA2D3D en effectuant non pas une montée le long de l'axe des Z, mais une rotation autour de cet axe. Dans ce cas le maillage 2D de référence est à construire dans un plan passant par cet axe.

## 5 Maillage de la partie inférieure

Suite à l'analyse faite, ce maillage se construit comme celui du dessus en modifiant uniquement le rayon du cercle du trou cylindrique.

Ainsi très rapidement le résultat est obtenu.

*Un exercice :*

- Exercice . Reprendre les données du dessus, les modifier et mailler le dessous.

## 6 Maillage du joint caoutchouc

### 6.1 Définitions liées à la géométrie

Nous allons définir l'origine au centre du trou prévu pour le boulon pour le 1/24 ième que l'on choisit de mailler.

L'axe des X ( local ) est orienté vers la gauche, celui des Y ( local ) est dirigé vers le bas ( pour une vue du dessus ).

Cet ensemble correspond à un secteur angulaire de 30 degrés .

Le centre du joint est défini par les coordonnées suivantes :

1. Abscisse : 1.7 cm.
2. Ordonnée : -2.94448637 cm. ( soit  $-X \times \sqrt{3}$  . )
3. Côte : 0. cm.

La hauteur du boudin ( hors la partie trouée ) varie selon la position. Elle correspond à une ellipse d'équation :  $\frac{Z^2}{AA} + \frac{Y^2}{BB} = 1$ .

Les rayons de cette ellipse dépendent de X selon :  $AA = 1.0 + \frac{0.3 \times X}{1.7}$  et  $BB = 1.0 + \frac{0.6 \times |X|}{2.6}$  .

Les cercles ( dans un plan Z = constante ) associés au trou prévu pour le boulon sont les suivants :

1. Vis du boulon : Cercle C3 : centre ( 0. , 0. ) et rayon R = 0.3 .
2. Extérieur du renflement : Cercle C6 : centre ( 0. , 0. ) et rayon R = 0.6 .

Par ailleurs on utilise les cercles C9 et C17 .

## 6.2 Découpage en blocs

Compte tenu des contraintes liées à la géométrie, on va découper l'ensemble en 7 parties ou blocs de topologie hexaédrique.

## 6.3 Traitement d'un bloc

Chaque bloc est analogue à un hexaèdre, par suite on va repérer ses items ( points, arêtes et faces ) par leur numéro local ( voir ([7] )).

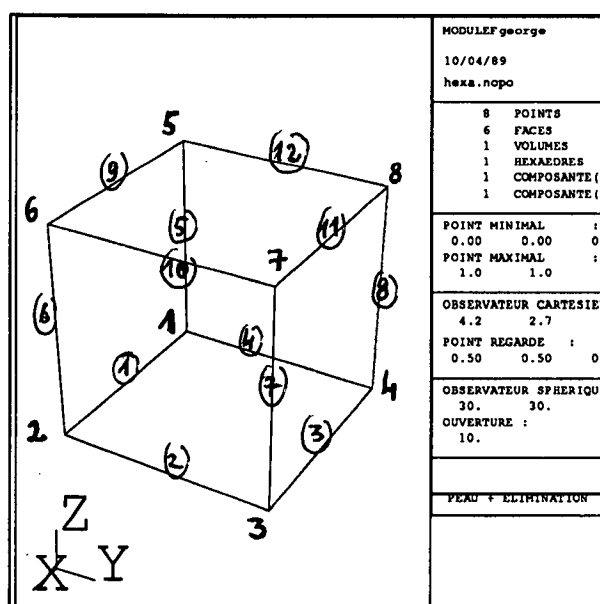


Figure 9: Numérotation des sommets et des arêtes

La géométrie réelle d'un bloc est obtenue en précisant :

1. les coordonnées de ses 8 sommets.
2. les définitions des 12 arêtes par indication de :
  - (a) ses 2 extrémités ( 2 des 8 sommets ci-dessus ).
  - (b) son mode de découpage : arête droite avec partition équidistante, arête entièrement définie par la donnée de ses points intermédiaires.

Le bloc sera alors découpé en sous éléments de son type ( hexaèdres ici ) qui s'appuieront sur les points des arêtes. Par suite on veillera à fournir un nombre de points intermédiaires égal sur les arêtes se faisant face.

Pour ce premier bloc, toutes les arêtes sont droites sauf les arêtes 3 et 11 qui sont sur le cercle de rayon 0.3 et 1 et 9 qui sont sur le cercle de rayon 0.6 .

Points	Calcul de X	Calcul de Y	Calcul de Z	Remarques
P1	$R6 * s30$	$- R6 * c30$	0.0	idem point P4 bloc 2
P2	$R6 * s30$	$R6 * c30$	0.0	idem point P3 bloc 2
P3	$R3 * s30$	$R3 * c30$	0.0	
P4	$R3 * s30$	$- R3 * c30$	0.0	
P5	idem P1	idem P1	ellipse	idem point P8 bloc 2
P6	idem P2	idem P2	ellipse	idem point P7 bloc 2
P7	idem P3	idem P3	ellipse	
P8	idem P4	idem P4	ellipse	

Tableau 1 : les 8 points grossiers du bloc 1

La mention ellipse signifie que l'on utilise l'équation de celle ci pour calculer la position du point. Les arêtes à définir manuellement sont décrites dans le tableau suivant :

Arêtes	Nombre de points	Calcul de X	Calcul de Y	Calcul de Z	Remarques
A1	N	cercle C6	auto	0.0	idem arête A3 bloc 2
A3	N	cercle C3	auto	0.0	
A9	N	idem A1	idem A1	ellipse	idem arête A11 bloc 2
A11	N	idem A3	idem A3	ellipse	

Tableau 2 : les 4 arêtes du bloc 1 définies manuellement

Le nombre de points N sur les arêtes est un paramètre. La mention auto indique que le découpage sera équirépartis entre les 2 extrémités de l'arête.

## 6.4 Les autres blocs

Pour obtenir les données relatives aux autres blocs, il suffit de dupliquer celles du bloc 1 et de les modifier ( la topologie étant identique ).

### 6.4.1 bloc numéro 2

Pour cet ensemble les données sont décrites dans les tableaux ci-dessous, avec la valeur  $R17 : \frac{XA}{c30}$  ou  $XA = 0.642847$ .

Points	Calcul de X	Calcul de Y	Calcul de Z	Remarques
P1	$R17 * s30$	$- R17 * c30$	0.0	idem point P4 bloc 3
P2	$R17 * s30$	$R17 * c30$	0.0	
P3	$R6 * s30$	$R6 * c30$	0.0	idem point P2 bloc 1
P4	$R6 * s30$	$- R6 * c30$	0.0	idem point P1 bloc 1
P5	idem P1	idem P1	ellipse + .2	idem point P8 bloc 3
P6	cercle C17	rayon ellipse	ellipse	idem point P7 bloc 3
P7	idem P3	idem P3	ellipse	idem point P6 bloc 1
P8	idem P4	idem P4	ellipse	idem point P5 bloc 1

Tableau 3 : les 8 points grossiers du bloc 2

Arêtes	Nombre de points	Calcul de X	Calcul de Y	Calcul de Z	Remarques
A1	N	cercle C17	auto	0.0	
A3	N	cercle C6	auto	0.0	idem arête A1 bloc 1
A6	N	cercle C17	ellipse	auto	
A9	N	idem A1	auto	ellipse	
A11	N	idem A3	idem A3	ellipse	idem arête A9 bloc 1

Tableau 4 : les 5 arêtes du bloc 2 définies manuellement

## 6.4.2 bloc numéro 3

Points	Calcul de X	Calcul de Y	Calcul de Z	Remarques
P1	1.7	- 1.4	0.0	
P2	1.7	1.4	0.0	
P3	$R17 * s30$	$R17 * c30$	0.0	idem point P2 bloc 2
P4	$R17 * s30$	$- R17 * c30$	0.0	idem point P1 bloc 2
P5	idem P1	rayon ellipse	ellipse	
P6	idem P2	rayon ellipse	ellipse	
P7	idem P3	rayon ellipse	ellipse	idem point P6 bloc 2
P8	idem P4	idem P4	ellipse	idem point P5 bloc 2

Tableau 5 : les 8 points grossiers du bloc 3

Arêtes	Nombre de points	Calcul de X	Calcul de Y	Calcul de Z	Remarques
A3	N	cercle C17	auto	0.0	
A5	N	constant	ellipse	auto	
A6	N	constant	ellipse	auto	idem arête A1 bloc 2
A7	N	cercle C17	ellipse	auto	idem arête A6 bloc 2
A9	N	constant	auto	ellipse	idem arête A6 bloc 2
A11	N	cercle c17	auto	ellipse	idem arête A9 bloc 2

Tableau 6 : les 6 arêtes du bloc 3 définies manuellement

## 6.4.3 bloc numéro 4

Points	Calcul de X	Calcul de Y	Calcul de Z	Remarques
P1	$R6 * s30$	$R6 * c30$	0.0	idem point P2 bloc 1
P2	$- R6 * s30$	$R6 * c30$	0.0	
P3	$- R3 * s30$	$R3 * c30$	0.0	
P4	$R3 * s30$	$R3 * c30$	0.0	idem point P3 bloc 1
P5	idem P1	idem P1	ellipse	idem point P6 bloc 1
P6	idem P2	idem P2	ellipse	
P7	idem P3	idem P3	ellipse	
P8	idem P4	idem P4	ellipse	idem point P7 bloc 1

Tableau 7 : les 8 points grossiers du bloc 4

Arêtes	Nombre de points	Calcul de X	Calcul de Y	Calcul de Z	Remarques
A1	N	auto	cercle C6	0.0	
A3	N	auto	cercle C3	0.0	
A9	N	idem A1	cercle C6	ellipse	
A11	N	idem A3	cercle C3	ellipse	

Tableau 8 : les 4 arêtes du bloc 4 définies manuellement

#### 6.4.4 bloc numéro 5

Avec  $XB = R9 \times c30$  et  $YB = -R9 \times s30$ .

Points	Calcul de X	Calcul de Y	Calcul de Z	Remarques
P1	$R17 * s30$	$R17 * c30$	0.0	P2 de 2, P3 de 3
P2	XB	YB	0.0	
P3	$-R6 * s30$	$R6 * c30$	0.0	idem point P2 bloc 4
P4	$R6 * s30$	$R6 * c30$	0.0	P3 de 2, P2 de 1, P1 de 4
P5	cercle C17	ellipse	ellipse	P6 de 2, P7 de 3
P6	de P2	de P2	ellipse - .2	
P7	de P3	de P3	ellipse	idem point P6 bloc 4
P8	de P4	de P4	ellipse	P5 de 4, P6 de 1

Tableau 9 : les 8 points grossiers du bloc 5

Arêtes	Nombre de points	Calcul de X	Calcul de Y	Calcul de Z	Remarques
A3	N	auto	cercle C6	0.0	idem arête A1 bloc 4
A5	N	cercle C17	ellipse	ellipse	idem arête A6 bloc 2
A11	N	idem A3	idem A3	ellipse	idem arête A9 bloc 4

Tableau 10 : les 3 arêtes du bloc 5 définies manuellement

#### 6.4.5 bloc numéro 6

Les 8 sommets grossiers du bloc 6 sont identiques à ceux du bloc 4 en changeant la valeur des côtes Z par la valeur constante 1.4 .

Les arêtes de ce bloc sont définies comme celles du bloc 4.

#### 6.4.6 bloc numéro 7

Les 8 sommets grossiers du bloc 7 sont identiques à ceux du bloc 1 en changeant la valeur des côtes Z par la valeur constante 1.4 .

Les arêtes de ce bloc sont définies comme celles du bloc 1.

### 6.5 Le maillage du 1/24 ième et le maillage total

Par simple recollement des maillages des 7 blocs on obtient celui de cet ensemble. Par manipulations géométriques ( symétries et rotations ) on construira le maillage du joint complet.

## 7 Le domaine complet

Il suffit maintenant de recoller les 3 parties ( dessus, dessous et joint ) pour obtenir le maillage final. On veillera à se placer dans un repère unique.

Pour apprécier les maillages obtenus on utilisera les préprocesseurs graphiques de la bibliothèque Modulef ( [6] ).

*Quelques exercices :*

- Exercice 1. Prevoir le recollement exact du joint et des 2 autres parties ( il suffit (!) de prevoir de manière identique, dans chacun de ces maillages , la zone de recollement ).
- Exercice 2. Utiliser COLIB2 avec un fichier de données pour générer le maillage de l'un des blocs.
- Exercice 3. Réfléchir à la possibilité de construire le maillage du joint de manière différente ( bon courage ! )
- Exercice 4. Utiliser le préprocesseur TRNOXX ( voir [6] ) pour examiner les différents maillages ( 2 ou 3D ) créés au cours du travail.

## 8 Annexe: Valeurs numériques et programmes d'appel

### 8.1 Fichier de commandes 2D

Ci-dessous figure le fichier de commandes ( créé par APNOXX ( module APNOPO ) ) contenant les données relatives au maillage 2D du 1/6 ième de la section de la partie haute du domaine.

```
'TEST 3D
COURBES
1                                $ IMPRE
COURBE01(X,Y)=
    (X-7.)*2+(Y+3.975094)*2-36.;
COURBE02(X,Y)=
    X*2+(Y-4.)*2-64.;
COURBE03(X,Y)=
    X*2+Y*2-2.05*2;
COURBE04(X,Y)=
    X*2+Y*2-0.85*2;
COURBE05(X,Y)=
    X*2+(Y+3.4)*2-0.09;
FIN
'POINTS
1      11                                $ IMPRE NPOINT $
$  NOP  NOREF(NOP)      X(NOP).      Y(NOP).  $
1      2      0.000000E+00      -.400000E+01
2      2      0.130000E+01      -.389367E+01
3      1      0.107976E+01      -.300000E+01
4      1      0.131722E+01      -.205000E+01
5      3      0.177535E+01      -.102500E+01
6      4      0.736122E+00      -.425000E+00
7      4      0.000000E+00      -.850000E+00
8      3      0.000000E+00      -.205000E+01
9      5      0.000000E+00      -.310000E+01
10     5      0.000000E+00      -.370000E+01
```

```

11      5      0.300000E+00      -.340000E+01
'LIGNE
  1      12      $ IMPRE NDLM $
$ NOLIG NOELIG NEXTR1 NEXTR2 NOREFL NFFRON RAISON $
  1      5      1      2      2      10      0.100000E+01
  2      5      2      3      1      0      0.100000E+01
  3      5      4      3      1      10      0.100000E+01
  4      5      5      6      6      0      0.100000E+01
  5      6      7      6      4      10      0.100000E+01
  6      5      7      8      6      0      0.100000E+01
  7      5      8      9      6      0      0.100000E+01
  8      3      11      9      5      10      0.100000E+01
  9      3      10      11      5      10      0.100000E+01
 10      3      1      10      6      0      0.100000E+01
 11      6      8      5      3      10      0.100000E+01
 12      5      4      5      6      0      0.100000E+01
'TRIH
  1      0      1      9      1      $ IMPRE NIVEAU NUDSD NBRELI NS1L
$ LISTE DES LIGNES DU CONTOUR :
  1      2      3      12      11      7      8      9      10
  1      0      1      $ NCOMP NBRINT IOPT $
  9      $ COMPOSANTE $
'REGU
  1      0      1      $ IMPRE NIVO1 NIVO2
'QUAC
  1      2      2      4      1      $ IMPRE NIVEAU NUDSD NBRELI NS1L
$ LISTE DES LIGNES DU CONTOUR :
  6      11      4      5
  5      1      $ IMAX NQUAD
'RECO
  1      1      2      3      0.10000E-02      1      $ IMP NIV1 NIV2 NIV3 EPS IOPT
  0      0      $ NBNNF NBNNSD
'SAUV
  1      3      0      $ IMPRE NINOPO NTNPO
UP6.BAS.NOPO
$ NOM FICHIER
'SAUV
  1      2      0      $ IMPRE NINOPO NTNPO
UP6.HAUT.NOPO
$ NOM FICHIER
'F

```

## 8.2 Fichier de commandes pour le dessus

Ci-dessous figure le fichier de commandes ( créé par APN3XX ( module APNOP3 ) ) contenant les données relatives au maillage 3D du 1/6 ième de la partie haute du domaine généré à partir de sa section 2D .

```
'EXEMPLE_UP6.2D==>UP.
'INTR
  1      0
UP6.BAS.NOPO      $ IMPRE NINOPO ( SD EXTERIEURE )
                  $ NOM DU FICHIER
'MA23
  1      0      1
$ === DEFINITION DE LA FONCTION ===
TRAN
  2
                  $ SECTION SUPERIEURE
  0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.5000000E+00      $ VECTEUR TRANSLATION
BASE -1.000000
FIN
$ FIN DE LA DEFINITION DE LA FONCTION
$ ===== LES OPTIONS =====
$ ===== APPEL DU MAILLEUR =====
GO
'INTR
  1      2
UP6.HAUT.NOPO      $ IMPRE NINOPO ( SD EXTERIEURE )
                  $ NOM DU FICHIER
'MA23XX
  1      2      3
$ === DEFINITION DE LA FONCTION ===
TRAN
  6
                  $ SECTION SUPERIEURE
  0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.5000000E+00      $ VECTEUR TRANSLATION
FIN
$ FIN DE LA DEFINITION DE LA FONCTION
$ ===== LES OPTIONS =====
$ ===== APPEL DU MAILLEUR =====
GO
'RECO
  1      1      3      4  0.10000E-02      0      $ IMP NIV1 NIV2 NIV3 EPS IOPT
  0      0
                  $ NBNNF NBNSD
'SYMP
  1      4      5
                  $ IMPRE NIVEA1 NIVEA2
  0      0
                  $ NBNNF NBNSD
  0.1000000E+01  0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00$ A. B. C. D.
'RECO
  1      4      5      6  0.10000E-02      0      $ IMP NIV1 NIV2 NIV3 EPS IOPT
  0      0
                  $ NBNNF NBNSD
'ROTA
  1      6      7
                  $ IMPRE NIVEA1 NIVEA2
  0      0
                  $ NBNNF NBNSD
  0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.1000000E+01
                  $ AXE DE ROTATION
  0.1200000E+03  0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00$ TETA. X. Y. Z.
'ROTA
  1      6      8
                  $ IMPRE NIVEA1 NIVEA2
  0      0
                  $ NBNNF NBNSD
  0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.1000000E+01
                  $ AXE DE ROTATION
  -0.1200000E+03  0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00$ TETA. X. Y. Z.
'RECO
  1      6      8      9  0.10000E-02      0      $ IMP NIV1 NIV2 NIV3 EPS IOPT
  0      0
                  $ NBNNF NBNSD
```



```
'RECO
  1   9   7   10  0.10000E-02   0   $ IMP NIV1 NIV2 NIV3 EPS IOPT
  0   0                                     $ NBNNF NBNNSD
'SAUV
  1   10   0   $ IMPRE NINOPO NTNPO
UP.NOP03D1   $ NOM DU FICHIER
'F
```

### 8.3 Programme d'appel pour le bloc 1 du joint

Ci-dessous figure le programme d'appel du module COLIBH contenant les données relatives au maillage 3D du bloc 1 du 1/24 ième du joint caoutchouc .

Le module COLIBH est une version du module COLIBH adaptée au cas où il n'y a qu'un seul bloc de géométrie hexaédrique.

```

C ++++++
C TEST COLIBH ( COLIB2 AVEC UN SEUL HEXAEDRE )
C ----- EXEMPLE DU JOINT ( PARTIE 1 SEULE )
C ++++++
  PARAMETER ( LM = 300000 )
  COMMON M(LM)
  INTEGER IDECAR(12),NBPARE(12)
  REAL    XYZ(3,8),XYZINT(3,200)

C
  IMPRE = 3
  NNN = 0
  CALL INITIS(M,LM,IMPRE,NNN)
C
  --- LA S.D.S. NOPO ---
  NFNPOPO = 10
  NINPOPO = 0
  CALL TRUNIT (NFNPOPO)
  CALL OUVRIIS(NFNPOPO,'j1.nopo','UNKNOWN,UNFORMATTED',2000000)
C
  --- LES REFERENCES ET LE SOUS DOMAINE ---
  NDSDE = 1
  IREF = 0

C
C -----
C --- LA GEOMETRIE ---
C -----
  DO 10 I=1,3
    DO 10 J=1,8
      XYZ(I,J) = 0.
10 CONTINUE
C
C -----
C --- LES PARAMETRES DE DEFINITION :
C -----
  RPI = 3.14159265
  A30 = 30. * RPI / 180.
  S30 = SIN(A30)
  C30 = COS(A30)
  R03 = 0.3
  X03 = 0.
  Y03 = 0.
  XA = 0.642847
  YA = -1.113444
  XB = R06 * S30
  XC = R03 * S30
  R06 = 0.6
  X06 = 0.
  Y06 = 0.
  R17 = -YA / C30
  X17 = 0.
  Y17 = 0.
  R09 = .91
  YB9 = R09 * C30
  XB9 = - R09 * S30
C
C -----
C --- LA BASE : POINTS 1 2 3 ET 4 : X Y ET Z = 0. :

```

```

C -----
XYZ(1,1) = R06 * S30
XYZ(1,2) = R06 * S30
XYZ(1,3) = R03 * S30
XYZ(1,4) = R03 * S30
XYZ(2,1) = - R06 * C30
XYZ(2,2) = R06 * C30
XYZ(2,3) = R03 * C30
XYZ(2,4) = - R03 * C30
C -----
C --- LE HAUT : POINTS 5 6 7 ET 8 : X Y PUIS Z :
C -----
DO J=1,4
  XYZ(2,J+4) = XYZ(2,J)
  XYZ(1,J+4) = XYZ(1,J)
  CALL SPELLI(XYZ(1,J+4),XYZ(2,J+4),XYZ(3,J+4))
ENDDO
C --- LES ARETES :
PRINT *, ' NPI ( PARAMETRE DE SUBDIVISION ) ? '
CALL LIBENT(NPI)
NPI = MAX(1,NPI)
NPI3 = MAX(1,NPI-2)
DO 20 J=1,12
  NBPARE(J) = NPI
  IDECAR(J) = 0
20 CONTINUE
NBPARE(2) = NPI3
NBPARE(4) = NPI3
NBPARE(10) = NPI3
NBPARE(12) = NPI3
C
IDECAR(1) = 1
IDECAR(3) = 1
IDECAR(9) = 1
IDECAR(11) = 1
C --- LES POINTS INTERMEDIAIRES :
C ARETE 1 :
IEX11 = 1
IEX21 = 2
D21 = ( XYZ(2,IEX21) - XYZ(2,IEX11) ) / ( NPI + 1. )
DO 11 J=1,NPI
C SUBDIVISION EN Y :
  XYZINT(2,J) = XYZ(2,IEX11) + J * D21
C CERCLE R06 EN X SELON CETTE SUBDIVISION :
  CALL SPCERC(R06,X06,Y06,XYZINT(2,J),XYZINT(1,J))
C CONSTANT EN Z :
  XYZINT(3,J) = 0.
11 CONTINUE
C ARETE 3 :
IEX13 = 3
IEX23 = 4
D23 = ( XYZ(2,IEX23) - XYZ(2,IEX13) ) / ( NPI + 1. )
DO 13 J=1,NPI
  JJ = J + NPI
C SUBDIVISION EN Y :
  XYZINT(2,JJ) = XYZ(2,IEX13) + J * D23
C CERCLE R03 EN X SELON CETTE SUBDIVISION :
  CALL SPCERC(R03,X03,Y03,XYZINT(2,JJ),XYZINT(1,JJ))
C CONSTANT EN Z :

```

```

      XYZINT(3,JJ) = 0.
13 CONTINUE
C      ARETE 9 :
      IEX19 = 5
      IEX29 = 6
      D29 = ( XYZ(2,IEX29) - XYZ(2,IEX19) ) / ( NPI + 1. )
      DO 19 J=1,NPI
        JJ = J + 2 * NPI
C      SUBDIVISION EN Y :
        XYZINT(2,JJ) = XYZ(2,IEX19) + J * D29
C      CERCLE R06 EN X SELON CETTE SUBDIVISION :
        CALL SPCERC(R06,X06,Y06,XYZINT(2,JJ),XYZINT(1,JJ))
C      ELLIPSE EN Z :
        CALL SPELLI(XYZINT(1,JJ),XYZINT(2,JJ),XYZINT(3,JJ))
19 CONTINUE
C      ARETE 11 :
      IEX111 = 7
      IEX211 = 8
      D211 = ( XYZ(2,IEX211) - XYZ(2,IEX111) ) / ( NPI + 1. )
      DO 111 J=1,NPI
        JJ = J + 3 * NPI
C      SUBDIVISION EN Y :
        XYZINT(2,JJ) = XYZ(2,IEX111) + J * D211
C      CERCLE R03 EN X SELON CETTE SUBDIVISION :
        CALL SPCERC(R03,X03,Y03,XYZINT(2,JJ),XYZINT(1,JJ))
C      ELLIPSE EN Z :
        CALL SPELLI(XYZINT(1,JJ),XYZINT(2,JJ),XYZINT(3,JJ))
111 CONTINUE
C      --- APPEL DU MODULE ---
      CALL COLIBH(M,NFNOPO,NINOPO,XYZ,IDECAR,NBPARE,XYZINT,IREF,NDSDE)
      STOP
      END
C ++++++
C SPCERC
C ++++++
      SUBROUTINE SPCERC(R,A,B,Y,X)
      RES = R*R - ( Y - B ) * ( Y - B )
      X = A + SQRT( RES )
      END
C ++++++
C SPELLI
C ++++++
      SUBROUTINE SPELLI(X,Y,Z)
      A = 1.0 + 0.3 * X / 1.7
      B = 1.0 + 0.6 * ABS(X) / 2.6
      Z = A* SQRT( 1. - Y*Y / ( B*B ) )
      END
C ++++++
C SPELL2
C ++++++
      SUBROUTINE SPELL2(X,Y,Z)
      A = 1.0 + 0.3 * X / 1.7
      B = 1.0 + 0.6 * ABS(X) / 2.6
      Y = B* SQRT( 1. - Z*Z / ( A*A ) )
      END

```

#### 8.4 Programme d'appel pour tout le joint

Ci-dessous figure le programme d'appel du module COLIBH contenant les données relatives au maillage 3D des blocs 1 à 7 du 1/24 ième du joint caoutchouc .

En fait on appelle 7 fois le mailleur COLIBH, on pourrait utiliser le module COLIB2 pour en une fois traiter les 7 blocs. Un tel programme ( cf exercice proposé ci-dessous ) serait plus court (!) mais plus délicat à écrire.

```

C ++++++
C TEST COLIBH ( COLIB2 AVEC UN SEUL HEXAEDRE )
C ----- EXEMPLE DU JOINT ( PARTIE 1 A 7 )
C ++++++
      PARAMETER ( LM = 300000 )
      COMMON M(LM)
      INTEGER IDECAR(12),NBPARE(12)
      REAL    XYZ(3,8),XYZINT(3,200)

C
      IMPRE = 3
      NNN   = 0
      CALL INITIS(M,LM,IMPRE,NNN)
C
      --- LA S.D.S. NOPO ---
      NFNPO = 10
      NINOPO = 0
      CALL TRUNIT (NFNPO)
      CALL OUVVIS(NFNPO,'j1.nopo','UNKNOWN,UNFORMATTED',2000000)
C
      --- LES REFERENCES ET LE SOUS DOMAINE ---
      NDSDE = 1
      IREF  = 0

C
C -----
C --- LES PARAMETRES DE DEFINITION :
C -----
      RPI = 3.14159265
      A30 = 30. * RPI / 180.
      S30 = SIN(A30)
      C30 = COS(A30)
      R03 = 0.3
      X03 = 0.
      Y03 = 0.
      XA  = 0.642847
      YA  = -1.113444
      XB  = R06 * S30
      XC  = R03 * S30
      R06 = 0.6
      X06 = 0.
      Y06 = 0.
      R17 = -YA / C30
      X17 = 0.
      Y17 = 0.
      R09 = .91
      YB9 = R09 * C30
      XB9 = - R09 * S30

C
C -----
C --- LA GEOMETRIE ---
C -----
      DO 10 I=1,3
        DO 10 J=1,8
          XYZ(I,J) = 0.
10 CONTINUE

```

```

C -----
C --- LA BASE : POINTS 1 2 3 ET 4 : X Y ET Z = 0. :
C -----
XYZ(1,1) = R06 * S30
XYZ(1,2) = R06 * S30
XYZ(1,3) = R03 * S30
XYZ(1,4) = R03 * S30
XYZ(2,1) = - R06 * C30
XYZ(2,2) = R06 * C30
XYZ(2,3) = R03 * C30
XYZ(2,4) = - R03 * C30
C -----
C --- LE HAUT : POINTS 5 6 7 ET 8 : X Y PUIS Z :
C -----
DO J=1,4
  XYZ(2,J+4) = XYZ(2,J)
  XYZ(1,J+4) = XYZ(1,J)
  CALL SPELLI(XYZ(1,J+4),XYZ(2,J+4),XYZ(3,J+4))
ENDDO
C --- LES ARETES :
PRINT *, ' NPI ( PARAMETRE DE SUBDIVISION ) ? '
CALL LIBENT(NPI)
NPI = MAX(1,NPI)
NPI3 = MAX(1,NPI-2)
DO 20 J=1,12
  NBPARE(J) = NPI
  IDECAR(J) = 0
20 CONTINUE
NBPARE(2) = NPI3
NBPARE(4) = NPI3
NBPARE(10) = NPI3
NBPARE(12) = NPI3
C
IDECAR(1) = 1
IDECAR(3) = 1
IDECAR(9) = 1
IDECAR(11) = 1
C --- LES POINTS INTERMEDIAIRES :
C ARETE 1 :
IEX11 = 1
IEX21 = 2
D21 = ( XYZ(2,IEX21) - XYZ(2,IEX11) ) / ( NPI + 1. )
DO 11 J=1,NPI
C SUBDIVISION EN Y :
  XYZINT(2,J) = XYZ(2,IEX11) + J * D21
C CERCLE R06 EN X SELON CETTE SUBDIVISION :
  CALL SPCERC(R06,X06,Y06,XYZINT(2,J),XYZINT(1,J))
C CONSTANT EN Z :
  XYZINT(3,J) = 0.
11 CONTINUE
C ARETE 3 :
IEX13 = 3
IEX23 = 4
D23 = ( XYZ(2,IEX23) - XYZ(2,IEX13) ) / ( NPI + 1. )
DO 13 J=1,NPI
  JJ = J + NPI
C SUBDIVISION EN Y :
  XYZINT(2,JJ) = XYZ(2,IEX13) + J * D23
C CERCLE R03 EN X SELON CETTE SUBDIVISION :

```

```

      CALL SPCERC(R03,X03,Y03,XYZINT(2,JJ),XYZINT(1,JJ))
C      CONSTANT EN Z :
      XYZINT(3,JJ) = 0.
13 CONTINUE
C      ARETE 9 :
      IEX19 = 5
      IEX29 = 6
      D29 = ( XYZ(2,IEX29) - XYZ(2,IEX19) ) / ( NPI + 1. )
      DO 19 J=1,NPI
        JJ = J + 2 * NPI
C      SUBDIVISION EN Y :
      XYZINT(2,JJ) = XYZ(2,IEX19) + J * D29
C      CERCLE R06 EN X SELON CETTE SUBDIVISION :
      CALL SPCERC(R06,X06,Y06,XYZINT(2,JJ),XYZINT(1,JJ))
C      ELLIPSE EN Z :
      CALL SPELLI(XYZINT(1,JJ),XYZINT(2,JJ),XYZINT(3,JJ))
19 CONTINUE
C      ARETE 11 :
      IEX111 = 7
      IEX211 = 8
      D211 = ( XYZ(2,IEX211) - XYZ(2,IEX111) ) / ( NPI + 1. )
      DO 111 J=1,NPI
        JJ = J + 3 * NPI
C      SUBDIVISION EN Y :
      XYZINT(2,JJ) = XYZ(2,IEX111) + J * D211
C      CERCLE R03 EN X SELON CETTE SUBDIVISION :
      CALL SPCERC(R03,X03,Y03,XYZINT(2,JJ),XYZINT(1,JJ))
C      ELLIPSE EN Z :
      CALL SPELLI(XYZINT(1,JJ),XYZINT(2,JJ),XYZINT(3,JJ))
111 CONTINUE
C      --- APPEL DU MODULE ---
      CALL COLIBH(M,NFNOPO,NINOPO,XYZ,IDECAR,NBPARE,XYZINT,IREF,NDSDE)
      PRINT *, ' ***** FIN PARTIE 1 '
C      -----
      CALL TRUNIT (NFNOPO)
      CALL OUVRI(NFNOPO, 'j2.nopo', 'UNKNOWN,UNFORMATTED',2000000)
C      -----
C      --- LA GEOMETRIE ---
C      -----
      DO 30 I=1,3
        DO 30 J=1,8
          XYZ(I,J) = 0.
30 CONTINUE
C      -----
C      --- LA BASE : POINTS 1 2 3 ET 4 : X Y ET Z = 0. :
C      -----
      XYZ(1,1) = R17 * S30
      XYZ(2,1) = - R17 * C30
      XYZ(1,2) = R17 * S30
      XYZ(2,2) = R17 * C30
      XYZ(1,3) = R06 * S30
      XYZ(2,3) = R06 * C30
      XYZ(1,4) = R06 * S30
      XYZ(2,4) = - R06 * C30
C      -----
C      --- LE HAUT : POINTS 5 6 7 ET 8 : X Y PUIS Z :
C      -----
      J = 1
      XYZ(1,J+4) = XYZ(1,J)

```

```

      XYZ(2,J+4) = XYZ(2,J)
      CALL SPELLI(XYZ(1,J+4),XYZ(2,J+4),XYZ(3,J+4))
      XYZ(3,J+4) = XYZ(3,J+4) + .2
      J = 2
      BB = 1.0 + 0.6 * ABS(XA) / 2.6
      XYZ(2,J+4) = 0.75 * BB
      CALL SPCERC(R17,X17,Y17,XYZ(2,J+4),XYZ(1,J+4))
      CALL SPELLI(XYZ(1,J+4),XYZ(2,J+4),XYZ(3,J+4))
      J = 3
      XYZ(2,J+4) = XYZ(2,J)
      XYZ(1,J+4) = XYZ(1,J)
      CALL SPELLI(XYZ(1,J+4),XYZ(2,J+4),XYZ(3,J+4))
      J = 4
      XYZ(2,J+4) = XYZ(2,J)
      XYZ(1,J+4) = XYZ(1,J)
      CALL SPELLI(XYZ(1,J+4),XYZ(2,J+4),XYZ(3,J+4))
C    --- LES ARETES :
      DO 40 J=1,12
        NBPARE(J) = NPI
        IDECAR(J) = 0
40  CONTINUE
      NBPARE(2) = NPI3
      NBPARE(4) = NPI3
      NBPARE(10) = NPI3
      NBPARE(12) = NPI3
C
      IDECAR(1) = 1
      IDECAR(3) = 1
      IDECAR(6) = 1
      IDECAR(9) = 1
      IDECAR(11) = 1
C    --- LES POINTS INTERMEDIAIRES :
C    ARETE 1 :
      IEX11 = 1
      IEX21 = 2
      D21 = ( XYZ(2,IEX21) - XYZ(2,IEX11) ) / ( NPI + 1. )
      DO 21 J=1,NPI
C        SUBDIVISION EN Y :
          XYZINT(2,J) = XYZ(2,IEX11) + J * D21
C        CERCLE R17 EN X SELON CETTE SUBDIVISION :
          CALL SPCERC(R17,X17,Y17,XYZINT(2,J),XYZINT(1,J))
C        CONSTANT EN Z :
          XYZINT(3,J) = 0.
21  CONTINUE
C    ARETE 3 :
      IEX13 = 3
      IEX23 = 4
      D23 = ( XYZ(2,IEX23) - XYZ(2,IEX13) ) / ( NPI + 1. )
      DO 23 J=1,NPI
C        SUBDIVISION EN Y :
          XYZINT(2,J+NPI) = XYZ(2,IEX13) + J * D23
C        CERCLE R06 EN X SELON CETTE SUBDIVISION :
          CALL SPCERC(R06,X06,Y06,XYZINT(2,J+NPI),XYZINT(1,J+NPI))
C        CONSTANT EN Z :
          XYZINT(3,J+NPI) = 0.
23  CONTINUE
C    ARETE 6 :
      IEX16 = 2
      IEX26 = 6

```



```

D16 = ( XYZ(1,IEX26) - XYZ(1,IEX16) ) / ( NPI + 1. )
D26 = ( XYZ(2,IEX26) - XYZ(2,IEX16) ) / ( NPI + 1. )
D36 = ( XYZ(3,IEX26) - XYZ(3,IEX16) ) / ( NPI + 1. )
DO 26 J=1,NPI
  JJ = J + 2 * NPI
C   SUBDIVISION EN X Y ET Z :
  XYZINT(1,JJ)      = XYZ(1,IEX16) + J * D16
  XYZINT(2,JJ)      = XYZ(2,IEX16) + J * D26
  XYZINT(3,JJ)      = XYZ(3,IEX16) + J * D36
C   ELLIPSE EN Y :
  CALL SPELL2(XYZINT(1,JJ),XYZINT(2,JJ),XYZINT(3,JJ))
C   CERCLE R17 EN X SELON CETTE SUBDIVISION :
  CALL SPCERC(R17,X17,Y17,XYZINT(2,JJ),XYZINT(1,JJ))
26 CONTINUE
C   ARETE 9 :
  IEX19 = 5
  IEX29 = 6
  D29 = ( XYZ(2,IEX29) - XYZ(2,IEX19) ) / ( NPI + 1. )
  DO 29 J=1,NPI
    JJ = J + 3 * NPI
C   SUBDIVISION EN Y :
    XYZINT(2,JJ)      = XYZ(2,IEX19) + J * D29
C   CERCLE R17 EN X SELON CETTE SUBDIVISION :
    CALL SPCERC(R17,X17,Y17,XYZINT(2,JJ),XYZINT(1,JJ))
C   ELLIPSE EN Z :
    CALL SPELLI(XYZINT(1,JJ),XYZINT(2,JJ),XYZINT(3,JJ))
29 CONTINUE
C   ARETE 11 :
  IEX111 = 7
  IEX211 = 8
  D211 = ( XYZ(2,IEX211) - XYZ(2,IEX111) ) / ( NPI + 1. )
  DO 211 J=1,NPI
    JJ = J + 4 * NPI
C   SUBDIVISION EN Y :
    XYZINT(2,JJ)      = XYZ(2,IEX111) + J * D211
C   CERCLE R06 EN X SELON CETTE SUBDIVISION :
    CALL SPCERC(R06,X06,Y06,XYZINT(2,JJ),XYZINT(1,JJ))
C   ELLIPSE EN Z :
    CALL SPELLI(XYZINT(1,JJ),XYZINT(2,JJ),XYZINT(3,JJ))
211 CONTINUE
C   --- APPEL DU MODULE ---
  CALL COLIBH(M,NFNOPO,NINOPO,XYZ,IDECAR,NBPARE,XYZINT,IREF,NDSDE)
  PRINT *, ' ***** FIN PARTIE 2 '
C   -----
  CALL TRUNIT (NFNOPO)
  CALL OUVRIIS(NFNOPO,'j3.nopo','UNKNOWN,UNFORMATTED',2000000)
C   -----
C   --- LA GEOMETRIE ---
C   -----
  DO 50 I=1,3
    DO 50 J=1,8
      XYZ(I,J) = 0.
50 CONTINUE
C   -----
C   --- LA BASE : POINTS 1 2 3 ET 4 : X Y ET Z = 0. :
C   -----
  XYZ(1,1) = 1.7
  XYZ(2,1) = - 1.4
  XYZ(1,2) = 1.7

```

```

      XYZ(2,2) = 1.4
      XYZ(1,3) = R17 * S30
      XYZ(2,3) = R17 * C30
      XYZ(1,4) = R17 * S30
      XYZ(2,4) = - R17 * C30
C -----
C --- LE HAUT : POINTS 5 6 7 ET 8 : X Y PUIS Z :
C -----
      DO 2 J=1,2
        XYZ(1,J+4) = XYZ(1,J)
2 CONTINUE
      J = 1
      BB = 1.3
      XYZ(2,J+4) = - 0.75 * BB
      CALL SPELLI(XYZ(1,J+4),XYZ(2,J+4),XYZ(3,J+4))
      J = 2
      BB = 1.3
      XYZ(2,J+4) = 0.75 * BB
      CALL SPELLI(XYZ(1,J+4),XYZ(2,J+4),XYZ(3,J+4))
      J = 3
      BB = 1.0 + 0.6 * ABS(XA) / 2.6
      XYZ(2,J+4) = 0.75 * BB
      CALL SPCERC(R17,X17,Y17,XYZ(2,J+4),XYZ(1,J+4))
      CALL SPELLI(XYZ(1,J+4),XYZ(2,J+4),XYZ(3,J+4))
      J = 4
      XYZ(1,J+4) = XYZ(1,J)
      XYZ(2,J+4) = XYZ(2,J)
      CALL SPELLI(XYZ(1,J+4),XYZ(2,J+4),XYZ(3,J+4))
      XYZ(3,J+4) = XYZ(3,J+4) + .2
C --- LES ARETES :
      DO 60 J=1,12
        NBPARE(J) = NPI
        IDECAR(J) = 0
60 CONTINUE
      NBPARE(2) = NPI3
      NBPARE(4) = NPI3
      NBPARE(10) = NPI3
      NBPARE(12) = NPI3
C ----- ARETES DONNEES MANUELLEMENT ( VIA XYZINT(3,*) ) :
      IDECAR(3) = 1
      IDECAR(5) = 1
      IDECAR(6) = 1
      IDECAR(7) = 1
      IDECAR(9) = 1
      IDECAR(11) = 1
C -----
C --- LES POINTS INTERMEDIAIRES
C -----
C PREMIERE ARETE = ARETE 3 ( DE 3 VERS 4 ) :
      IEX13 = 3
      IEX23 = 4
      D23 = ( XYZ(2,IEX23) - XYZ(2,IEX13) ) / ( NPI + 1. )
      DO 33 J=1,NPI
C SUBDIVISION EN Y :
        XYZINT(2,J) = XYZ(2,IEX13) + J * D23
C CERCLE R17 EN X SELON CETTE SUBDIVISION :
        CALL SPCERC(R17,X17,Y17,XYZINT(2,J),XYZINT(1,J))
C CONSTANT EN Z :
        XYZINT(3,J) = 0.

```

```

33 CONTINUE
C      DEUXIEME ARETE = ARETE 5 ( DE 1 VERS 5 ) :
      IEX15 = 1
      IEX25 = 5
      D35 = ( XYZ(3,IEX25) - XYZ(3,IEX15) ) / ( NPI + 1. )
      DO 35 J=1,NPI
        JJ = J + NPI
C      CONSTANT EN X :
        XYZINT(1,JJ) = XYZ(1,1)
C      SUBDIVISION EN Z :
        XYZINT(3,JJ) = XYZ(3,IEX15) + J * D35
C      ELLIPSE EN Y :
        CALL SPELL2(XYZINT(1,JJ),XYZINT(2,JJ),XYZINT(3,JJ))
        XYZINT(2,JJ) = - XYZINT(2,JJ)
35 CONTINUE
C      TROISIEME ARETE = ARETE 6 ( DE 2 VERS 6 ) :
      IEX16 = 2
      IEX26 = 6
      D36 = ( XYZ(3,IEX26) - XYZ(3,IEX16) ) / ( NPI + 1. )
      DO 36 J=1,NPI
        JJ = J + 2 * NPI
C      CONSTANT EN X :
        XYZINT(1,JJ) = XYZ(1,2)
C      SUBDIVISION EN Z :
        XYZINT(3,JJ) = XYZ(3,IEX16) + J * D36
C      ELLIPSE EN Y :
        CALL SPELL2(XYZINT(1,JJ),XYZINT(2,JJ),XYZINT(3,JJ))
36 CONTINUE
C      QUATRIEME ARETE= ARETE 7 ( DE 3 VERS 7 ) :
      IEX17 = 3
      IEX27 = 7
      D17 = ( XYZ(1,IEX27) - XYZ(1,IEX17) ) / ( NPI + 1. )
      D27 = ( XYZ(2,IEX27) - XYZ(2,IEX17) ) / ( NPI + 1. )
      D37 = ( XYZ(3,IEX27) - XYZ(3,IEX17) ) / ( NPI + 1. )
      DO 37 J=1,NPI
        JJ = J + 3 * NPI
C      SUBDIVISION EN X Y ET Z :
        XYZINT(1,JJ) = XYZ(1,IEX17) + J * D17
        XYZINT(2,JJ) = XYZ(2,IEX17) + J * D27
        XYZINT(3,JJ) = XYZ(3,IEX17) + J * D37
C      ELLIPSE EN Y :
        CALL SPELL2(XYZINT(1,JJ),XYZINT(2,JJ),XYZINT(3,JJ))
C      CERCLE R17 EN X SELON CETTE SUBDIVISION :
        CALL SPCERC(R17,X17,Y17,XYZINT(2,JJ),XYZINT(1,JJ))
37 CONTINUE
C      CINQUIEME ARETE = ARETE 9 ( DE 5 VERS 6 ) :
      IEX19 = 5
      IEX29 = 6
      D29 = ( XYZ(2,IEX29) - XYZ(2,IEX19) ) / ( NPI + 1. )
      DO 39 J=1,NPI
        JJ = J + 4 * NPI
C      CONSTANT EN X :
        XYZINT(1,JJ) = XYZ(1,5)
C      SUBDIVISION EN Y :
        XYZINT(2,JJ) = XYZ(2,IEX19) + J * D29
C      ELLIPSE EN Z :
        CALL SPELL1(XYZINT(1,JJ),XYZINT(2,JJ),XYZINT(3,JJ))
39 CONTINUE
C      SIXIEME ARETE = ARETE 11 ( DE 7 VERS 8 ) :

```

```

      IEX111 = 7
      IEX211 = 8
      D211 = ( XYZ(2,IEX211) - XYZ(2,IEX111) ) / ( NPI + 1. )
      DO 311 J=1,NPI
        JJ = J + 5 * NPI
C      SUBDIVISION EN Y :
        XYZINT(2,JJ) = XYZ(2,IEX111) + J * D211
C      CERCLE R17 EN X SELON CETTE SUBDIVISION :
        CALL SPCERC(R17,X17,Y17,XYZINT(2,JJ),XYZINT(1,JJ))
C      ELLIPSE EN Z :
        CALL SPELLI(XYZINT(1,JJ),XYZINT(2,JJ),XYZINT(3,JJ))
311 CONTINUE
C      --- APPEL DU MODULE ---
      CALL COLIBH(M,NFNOPO,NINOPO,XYZ,IDECAR,NBPARE,XYZINT,IREF,NDSDE)
      PRINT *, ' ***** FIN PARTIE 3 '
C      -----
      CALL TRUNIT (NFNOPO)
      CALL OUVVIS(NFNOPO,'j4.nopo','UNKNOWN,UNFORMATTED',2000000)
C      -----
C      --- LA GEOMETRIE ---
C      -----
      DO 70 I=1,3
        DO 70 J=1,8
          XYZ(I,J) = 0.
70 CONTINUE
C      -----
C      --- LA BASE : POINTS 1 2 3 ET 4 : X Y ET Z = 0. :
C      -----
      XYZ(1,1) = R06 * S30
      XYZ(1,2) = - R06 * S30
      XYZ(1,3) = - R03 * S30
      XYZ(1,4) = R03 * S30
      XYZ(2,1) = R06 * C30
      XYZ(2,2) = R06 * C30
      XYZ(2,3) = R03 * C30
      XYZ(2,4) = R03 * C30
C      -----
C      --- LE HAUT : POINTS 5 6 7 ET 8 : X Y PUIS Z :
C      -----
      DO J=1,4
        XYZ(2,J+4) = XYZ(2,J)
        XYZ(1,J+4) = XYZ(1,J)
        CALL SPELLI(ABS(XYZ(1,J+4)),XYZ(2,J+4),XYZ(3,J+4))
      ENDDO
C      --- LES ARETES :
      DO 80 J=1,12
        NBPARE(J) = NPI
        IDECAR(J) = 0
80 CONTINUE
      NBPARE(2) = NPI3
      NBPARE(4) = NPI3
      NBPARE(10) = NPI3
      NBPARE(12) = NPI3
C
      IDECAR(1) = 1
      IDECAR(3) = 1
      IDECAR(9) = 1
      IDECAR(11) = 1
C      --- LES POINTS INTERMEDIAIRES :

```

```

C      ARETE 1 :
      IEX11 = 1
      IEX21 = 2
      D11 = ( XYZ(1,IEX21) - XYZ(1,IEX11) ) / ( NPI + 1. )
      DO 41 J=1,NPI
C      SUBDIVISION EN X :
      XYZINT(1,J) = XYZ(1,IEX11) + J * D11
C      CERCLE R06 EN Y SELON CETTE SUBDIVISION :
      CALL SPCERC(R06,X06,Y06,XYZINT(1,J),XYZINT(2,J))
C      CONSTANT EN Z :
      XYZINT(3,J) = 0.
41 CONTINUE
C      ARETE 3 :
      IEX13 = 3
      IEX23 = 4
      D13 = ( XYZ(1,IEX23) - XYZ(1,IEX13) ) / ( NPI + 1. )
      DO 43 J=1,NPI
C      SUBDIVISION EN X :
      XYZINT(1,J+NPI) = XYZ(1,IEX13) + J * D13
C      CERCLE R03 EN Y SELON CETTE SUBDIVISION :
      CALL SPCERC(R03,X03,Y03,XYZINT(1,J+NPI),XYZINT(2,J+NPI))
C      CONSTANT EN Z :
      XYZINT(3,J+NPI) = 0.
43 CONTINUE
C      ARETE 9 :
      IEX19 = 5
      IEX29 = 6
      D19 = ( XYZ(1,IEX29) - XYZ(1,IEX19) ) / ( NPI + 1. )
      DO 49 J=1,NPI
      JJ = J + 2 * NPI
C      SUBDIVISION EN X :
      XYZINT(1,JJ) = XYZ(1,IEX19) + J * D19
C      CERCLE R06 EN Y SELON CETTE SUBDIVISION :
      CALL SPCERC(R06,X06,Y06,XYZINT(1,JJ),XYZINT(2,JJ))
C      ELLIPSE EN Z :
      CALL SPELLI(ABS(XYZINT(1,JJ)),XYZINT(2,JJ),XYZINT(3,JJ))
49 CONTINUE
C      ARETE 11 :
      IEX111 = 7
      IEX211 = 8
      D111 = ( XYZ(1,IEX211) - XYZ(1,IEX111) ) / ( NPI + 1. )
      DO 411 J=1,NPI
      JJ = J + 3 * NPI
C      SUBDIVISION EN X :
      XYZINT(1,JJ) = XYZ(1,IEX111) + J * D111
C      CERCLE R03 EN Y SELON CETTE SUBDIVISION :
      CALL SPCERC(R03,X03,Y03,XYZINT(1,JJ),XYZINT(2,JJ))
C      ELLIPSE EN Z :
      CALL SPELLI(ABS(XYZINT(1,JJ)),XYZINT(2,JJ),XYZINT(3,JJ))
411 CONTINUE
C      --- APPEL DU MODULE ---
      CALL COLIBH(M,NFNOPO,NINOPO,XYZ,IDECAR,NBPARE,XYZINT,IREF,NDSDE)
      PRINT *, ' ***** FIN PARTIE 4 '
C      -----
      CALL TRUNIT (NFNOPO)
      CALL OUVRIIS(NFNOPO, 'j5.nopo', 'UNKNOWN,UNFORMATTED',2000000)
C      -----
C      --- LA GEOMETRIE ---
C      -----

```

```

DO 90 I=1,3
  DO 90 J=1,8
    XYZ(I,J) = 0.
90 CONTINUE
C -----
C --- LA BASE : POINTS 1 2 3 ET 4 : X Y ET Z = 0. :
C -----
XYZ(1,1) = R17 * S30
XYZ(2,1) = R17 * C30
XYZ(1,2) = XB9
XYZ(1,3) = - R06 * S30
XYZ(1,4) = R06 * S30
XYZ(2,2) = YB9
XYZ(2,3) = R06 * C30
XYZ(2,4) = R06 * C30
C -----
C --- LE HAUT : POINTS 5 6 7 ET 8 : X Y PUIS Z :
C -----
J = 1
BB = 1.0 + 0.6 * ABS(XA) / 2.6
XYZ(2,J+4) = 0.75 * BB
CALL SPCERC(R17,X17,Y17,XYZ(2,J+4),XYZ(1,J+4))
CALL SPELLI(XYZ(1,J+4),XYZ(2,J+4),XYZ(3,J+4))
J = 2
XYZ(2,J+4) = 0.9 * XYZ(2,J)
XYZ(1,J+4) = 0.9 * XYZ(1,J)
CALL SPELLI(ABS(XYZ(1,J+4)),XYZ(2,J+4),XYZ(3,J+4))
XYZ(3,J+4) = XYZ(3,J+4) - .2
J = 3
XYZ(2,J+4) = XYZ(2,J)
XYZ(1,J+4) = XYZ(1,J)
CALL SPELLI(ABS(XYZ(1,J+4)),XYZ(2,J+4),XYZ(3,J+4))
J = 4
XYZ(2,J+4) = XYZ(2,J)
XYZ(1,J+4) = XYZ(1,J)
CALL SPELLI(ABS(XYZ(1,J+4)),XYZ(2,J+4),XYZ(3,J+4))
C --- LES ARETES :
DO 100 J=1,12
  NBPARE(J) = NPI
  IDECAR(J) = 0
100 CONTINUE
NBPARE(2) = NPI3
NBPARE(4) = NPI3
NBPARE(10) = NPI3
NBPARE(12) = NPI3
C
IDECAR(3) = 1
IDECAR(5) = 1
IDECAR(11) = 1
C --- LES POINTS INTERMEDIAIRES :
C ARETE 3 :
IEX13 = 3
IEX23 = 4
D13 = ( XYZ(1,IEX23) - XYZ(1,IEX13) ) / ( NPI + 1. )
DO 53 J=1,NPI
C SUBDIVISION EN X :
XYZINT(1,J) = XYZ(1,IEX13) + J * D13
C CERCLE R06 EN Y SELON CETTE SUBDIVISION :
CALL SPCERC(R06,X06,Y06,XYZINT(1,J),XYZINT(2,J))

```

```

C      CONSTANT EN Z :
      XYZINT(3,J) = 0.
53 CONTINUE
C      ARETE 5 :
      IEX15 = 1
      IEX25 = 5
      D15 = ( XYZ(1,IEX25) - XYZ(1,IEX15) ) / ( NPI + 1. )
      D25 = ( XYZ(2,IEX25) - XYZ(2,IEX15) ) / ( NPI + 1. )
      D35 = ( XYZ(3,IEX25) - XYZ(3,IEX15) ) / ( NPI + 1. )
      DO 55 J=1,NPI
        JJ = J + NPI
C      SUBDIVISION EN X Y ET Z :
      XYZINT(1,JJ) = XYZ(1,IEX15) + J * D15
      XYZINT(2,JJ) = XYZ(2,IEX15) + J * D25
      XYZINT(3,JJ) = XYZ(3,IEX15) + J * D35
C      ELLIPSE EN Y :
      CALL SPELL2(XYZINT(1,JJ),XYZINT(2,JJ),XYZINT(3,JJ))
C      CERCLE R17 EN X SELON CETTE SUBDIVISION :
      CALL SPCERC(R17,X17,Y17,XYZINT(2,JJ),XYZINT(1,JJ))
55 CONTINUE
C      ARETE 11 :
      IEX111 = 7
      IEX211 = 8
      D111 = ( XYZ(1,IEX211) - XYZ(1,IEX111) ) / ( NPI + 1. )
      DO 511 J=1,NPI
        JJ = J + 2 * NPI
C      SUBDIVISION EN X :
      XYZINT(1,JJ) = XYZ(1,IEX111) + J * D111
C      CERCLE R06 EN Y SELON CETTE SUBDIVISION :
      CALL SPCERC(R06,X06,Y06,XYZINT(1,JJ),XYZINT(2,JJ))
C      ELLIPSE EN Z :
      CALL SPELLI(ABS(XYZINT(1,JJ)),XYZINT(2,JJ),XYZINT(3,JJ))
511 CONTINUE
C      --- APPEL DU MODULE ---
      CALL COLIBH(M,NFNOPO,NINOPO,XYZ,IDECAR,NBPARE,XYZINT,IREF,NDSDE)
      PRINT *, ' ***** FIN PARTIE 5 '
C      -----
      CALL TRUNIT (NFNOPO)
      CALL OUVVIS(NFNOPO,'j6.nopo','UNKNOWN,UNFORMATTED',2000000)
C      -----
C      --- LA GEOMETRIE ---
C      -----
      DO 110 I=1,3
        DO 110 J=1,8
          XYZ(I,J) = 0.
110 CONTINUE
C      -----
C      --- LA BASE : POINTS 1 2 3 ET 4 : X Y ET Z = 0. :
C      -----
      XYZ(1,1) = R06 * S30
      XYZ(1,2) = - R06 * S30
      XYZ(1,3) = - R03 * S30
      XYZ(1,4) = R03 * S30
      XYZ(2,1) = R06 * C30
      XYZ(2,2) = R06 * C30
      XYZ(2,3) = R03 * C30
      XYZ(2,4) = R03 * C30
C      --- LE HAUT :
      DO 120 I=1,2

```

```

      DO 120 J=1,4
        XYZ(I,J+4) = XYZ(I,J)
120  CONTINUE
      DO 130 J=1,4
        XYZ(3,J+4) = 1.4
        CALL SPELLI(ABS(XYZ(1,J)),XYZ(2,J),XYZ(3,J))
130  CONTINUE
C     ---  LES ARETES :
      DO 140 J=1,12
        NBPARE(J) = NPI
        IDECAR(J) = 0
140  CONTINUE
      NBPARE(2) = NPI3
      NBPARE(4) = NPI3
      NBPARE(5) = 1
      NBPARE(6) = 1
      NBPARE(7) = 1
      NBPARE(8) = 1
      NBPARE(10) = NPI3
      NBPARE(12) = NPI3
C
      IDECAR(1) = 1
      IDECAR(3) = 1
      IDECAR(9) = 1
      IDECAR(11) = 1
C     ---  LES POINTS INTERMEDIAIRES :
C     ARETE 1 :
      IEX11 = 1
      IEX21 = 2
      D11 = ( XYZ(1,IEX21) - XYZ(1,IEX11) ) / ( NPI + 1. )
      DO 61 J=1,NPI
C       SUBDIVISION EN X :
        XYZINT(1,J) = XYZ(1,IEX11) + J * D11
C       CERCLE R06 EN Y SELON CETTE SUBDIVISION :
        CALL SPCERC(R06,X06,Y06,XYZINT(1,J),XYZINT(2,J))
C       ELLIPSE EN Z :
        CALL SPELLI(ABS(XYZINT(1,J)),XYZINT(2,J),XYZINT(3,J))
61  CONTINUE
C     ARETE 3 :
      IEX13 = 3
      IEX23 = 4
      D13 = ( XYZ(1,IEX23) - XYZ(1,IEX13) ) / ( NPI + 1. )
      DO 63 J=1,NPI
        JJ = J + NPI
C       SUBDIVISION EN X :
        XYZINT(1,JJ) = XYZ(1,IEX13) + J * D13
C       CERCLE R03 EN Y SELON CETTE SUBDIVISION :
        CALL SPCERC(R03,X03,Y03,XYZINT(1,JJ),XYZINT(2,JJ))
C       ELLIPSE EN Z :
        CALL SPELLI(ABS(XYZINT(1,JJ)),XYZINT(2,JJ),XYZINT(3,JJ))
63  CONTINUE
C     ARETE 9 :
      IEX19 = 5
      IEX29 = 6
      D19 = ( XYZ(1,IEX29) - XYZ(1,IEX19) ) / ( NPI + 1. )
      DO 69 J=1,NPI
C       SUBDIVISION EN X :
        XYZINT(1,J+2*NPI) = XYZ(1,IEX19) + J * D19
C       CERCLE R06 EN Y SELON CETTE SUBDIVISION :

```



```

      CALL SPCERC(R06,X06,Y06,XYZINT(1,J+2*NPI),XYZINT(2,J+2*NPI))
C      CONSTANT EN Z :
      XYZINT(3,J+2*NPI) = 1.4
69 CONTINUE
C      ARETE 11 :
      IEX111 = 7
      IEX211 = 8
      D111 = ( XYZ(1,IEX211) - XYZ(1,IEX111) ) / ( NPI + 1. )
      DO 611 J=1,NPI
C      SUBDIVISION EN X :
      XYZINT(1,J+3*NPI) = XYZ(1,IEX111) + J * D111
C      CERCLE R03 EN Y SELON CETTE SUBDIVISION :
      CALL SPCERC(R03,X03,Y03,XYZINT(1,J+3*NPI),XYZINT(2,J+3*NPI))
C      CONSTANT EN Z :
      XYZINT(3,J+3*NPI) = 1.4
611 CONTINUE
C      --- APPEL DU MODULE ---
      CALL COLIBH(M,NFNOPO,NINPOPO,XYZ,IDECAR,NBPARE,XYZINT,IREF,NDSDE)
      PRINT *, ' ***** FIN PARTIE 6 '
C      -----
      CALL TRUNIT (NFNOPO)
      CALL OUVVRIS(NFNOPO,'j7.nopo','UNKNOWN,UNFORMATTED',2000000)
C      -----
C      --- LA GEOMETRIE ---
C      -----
      DO 150 I=1,3
        DO 150 J=1,8
          XYZ(I,J) = 0.
150 CONTINUE
C      --- LA BASE :
      XYZ(1,1) = R06 * S30
      XYZ(1,2) = R06 * S30
      XYZ(1,3) = R03 * S30
      XYZ(1,4) = R03 * S30
      XYZ(2,1) = - R06 * C30
      XYZ(2,2) = R06 * C30
      XYZ(2,3) = R03 * C30
      XYZ(2,4) = - R03 * C30
C      --- LE HAUT :
      DO 160 I=1,2
        DO 160 J=1,4
          XYZ(I,J+4) = XYZ(I,J)
160 CONTINUE
      DO 170 J=1,4
        XYZ(3,J+4) = 1.4
        CALL SPELLI(XYZ(1,J),XYZ(2,J+4),XYZ(3,J))
170 CONTINUE
C      --- LES ARETES :
      DO 180 J=1,12
        NBPARE(J) = NPI
        IDECAR(J) = 0
180 CONTINUE
      NBPARE(2) = NPI3
      NBPARE(4) = NPI3
      NBPARE(5) = 1
      NBPARE(6) = 1
      NBPARE(7) = 1
      NBPARE(8) = 1
      NBPARE(10) = NPI3

```

```

      NBPARE(12) = NPI3
C
      IDECAR(1) = 1
      IDECAR(3) = 1
      IDECAR(9) = 1
      IDECAR(11) = 1
C      --- LES POINTS INTERMEDIAIRES :
C      ARETE 1 :

      IEX11 = 1
      IEX21 = 2
      D21 = ( XYZ(2,IEX21) - XYZ(2,IEX11) ) / ( NPI + 1. )
      DO 71 J=1,NPI
C      SUBDIVISION EN Y :
      XYZINT(2,J) = XYZ(2,IEX11) + J * D21
C      CERCLE R06 EN X SELON CETTE SUBDIVISION :
      CALL SPCERC(R06,X06,Y06,XYZINT(2,J),XYZINT(1,J))
C      ELLIPSE EN Z :
      CALL SPELLI(XYZINT(1,J),XYZINT(2,J),XYZINT(3,J))
71 CONTINUE
C      ARETE 3 :
      IEX13 = 3
      IEX23 = 4
      D23 = ( XYZ(2,IEX23) - XYZ(2,IEX13) ) / ( NPI + 1. )
      DO 73 J=1,NPI
      JJ = J + NPI
C      SUBDIVISION EN Y :
      XYZINT(2,JJ) = XYZ(2,IEX13) + J * D23
C      CERCLE R03 EN X SELON CETTE SUBDIVISION :
      CALL SPCERC(R03,X03,Y03,XYZINT(2,JJ),XYZINT(1,JJ))
C      ELLIPSE EN Z :
      CALL SPELLI(XYZINT(1,JJ),XYZINT(2,JJ),XYZINT(3,JJ))
73 CONTINUE
C      ARETE 9 :
      IEX19 = 5
      IEX29 = 6
      D29 = ( XYZ(2,IEX29) - XYZ(2,IEX19) ) / ( NPI + 1. )
      DO 79 J=1,NPI
C      SUBDIVISION EN Y :
      XYZINT(2,J+2*NPI) = XYZ(2,IEX19) + J * D29
C      CERCLE R06 EN X SELON CETTE SUBDIVISION :
      CALL SPCERC(R06,X06,Y06,XYZINT(2,J+2*NPI),XYZINT(1,J+2*NPI))
C      CONSTANT EN Z :
      XYZINT(3,J+2*NPI) = 1.4
79 CONTINUE
C      ARETE 11 :
      IEX111 = 7
      IEX211 = 8
      D211 = ( XYZ(2,IEX211) - XYZ(2,IEX111) ) / ( NPI + 1. )
      DO 711 J=1,NPI
C      SUBDIVISION EN Y :
      XYZINT(2,J+3*NPI) = XYZ(2,IEX111) + J * D211
C      CERCLE R03 EN X SELON CETTE SUBDIVISION :
      CALL SPCERC(R03,X03,Y03,XYZINT(2,J+3*NPI),XYZINT(1,J+3*NPI))
C      CONSTANT EN Z :
      XYZINT(3,J+3*NPI) = 1.4
711 CONTINUE
C      --- APPEL DU MODULE ---
      CALL COLIBH(M,NFNOPO,NINOPO,XYZ,IDECAR,NBPARE,XYZINT,IREF,NDSDE)
      PRINT *, ' ***** FIN PARTIE 7 '

```

```

      END
C ++++++
C SPCERC
C ++++++
      SUBROUTINE SPCERC(R,A,B,Y,X)
      RES = R*R - ( Y - B ) * ( Y - B )
      X   = A + SQRT( RES )
      END
C ++++++
C SPELLI
C ++++++
      SUBROUTINE SPELLI(X,Y,Z)
      A = 1.0 + 0.3 * X / 1.7
      B = 1.0 + 0.6 * ABS(X) / 2.6
      Z  = A* SQRT( 1. - Y*Y / ( B*B ) )
      END
C ++++++
C SPELL2
C ++++++
      SUBROUTINE SPELL2(X,Y,Z)
      A = 1.0 + 0.3 * X / 1.7
      B = 1.0 + 0.6 * ABS(X) / 2.6
      Y  = B* SQRT( 1. - Z*Z / ( A*A ) )
      END

```

*Un exercice :*

- Exercice 1. Ecrire le programme d'appel du module COLIB2 pour considérer les 7 blocs à la fois.

## 8.5 Fichiers de commandes pour tout le joint

Ci-dessous figure les fichiers de commandes permettant :

1. Le recollement des 7 maillages
2. La construction du 1/6 ième du joint
3. La construction du demi-joint
4. La construction du joint complet

Ces fichiers sont créés par APN3XX ( préprocesseur du module APNOP3 ).

```
'RECOJ.DATA
'INTR
    1      0
    J1.NOPO
$ NOM DU FICHIER
'INTR
    1      1
    J2.NOPO
$ NOM DU FICHIER
'RECO
    1      0      1      2      0.10000E-02      0      $ IMP NIV1 NIV2 NIV3 EPS IOPT
    0      0
    J3.NOPO
$ NOM DU FICHIER
'RECO
    1      2      1      0      0.10000E-02      0      $ IMP NIV1 NIV2 NIV3 EPS IOPT
    0      0
    J4.NOPO
$ NOM DU FICHIER
'RECO
    1      0      1      2      0.10000E-02      0      $ IMP NIV1 NIV2 NIV3 EPS IOPT
    0      0
    J5.NOPO
$ NOM DU FICHIER
'RECO
    1      2      1      0      0.10000E-02      0      $ IMP NIV1 NIV2 NIV3 EPS IOPT
    0      0
    J6.NOPO
$ NOM DU FICHIER
'RECO
    1      0      1      2      0.10000E-02      0      $ IMP NIV1 NIV2 NIV3 EPS IOPT
    0      0
    J7.NOPO
$ NOM DU FICHIER
'RECO
    1      2      1      0      0.10000E-02      0      $ IMP NIV1 NIV2 NIV3 EPS IOPT
    0      0
```

```

'SAUV
  1      0      0
J1A7.NOPO
$ NOM DU FICHIER
'F

'joint
'INTR
  1      0
J1A7.NOPO
$ NOM DU FICHIER
'SYMP
  1      0      1
  0      0
0.0000000E+00 0.0000000E+00 0.1000000E+01 0.0000000E+00$ A. B. C. D.
'RECO
  1      0      1      2 0.10000E-02      0      $ IMP NIV1 NIV2 NIV3 EPS IOPT
  0      0
$ NBNNF NBNNSD
'SYMP
  1      2      3
  0      0
0.1000000E+01 0.0000000E+00 0.0000000E+00 -0.1700000E+01$ A. B. C. D.
'RECO
  1      2      3      0 0.10000E-02      0      $ IMP NIV1 NIV2 NIV3 EPS IOPT
  0      0
$ NBNNF NBNNSD
'SAUV
  1      0      0
JA6.NOPO
$ NOM DU FICHIER
'F

'JOINT
'INTR
  1      0
JA6.NOPO
$ NOM DU FICHIER
'ROTA
  1      0      1
  0      0
0.0000000E+00 0.0000000E+00 0.1000000E+01
0.6000000E+02 0.1700000E+01 -0.2944486E+01 0.0000000E+00$ TETA. X. Y. Z.
'ROTA
  1      0      2
  0      0
0.0000000E+00 0.0000000E+00 0.1000000E+01
-0.6000000E+02 0.1700000E+01 -0.2944486E+01 0.0000000E+00$ TETA. X. Y. Z.
'RECO
  1      0      1      3 0.10000E-02      0      $ IMP NIV1 NIV2 NIV3 EPS IOPT
  0      0
$ NBNNF NBNNSD
'RECO
  1      3      2      4 0.10000E-02      0      $ IMP NIV1 NIV2 NIV3 EPS IOPT
  0      0
$ NBNNF NBNNSD
'SAUV
  1      4      0
JA2.NOPO
$ NOM DU FICHIER
'F

```

'JOINT

'INTR

1 0

\$ IMPRE NINOPO ( SD EXTERIEURE )

JA2.NOPO

\$ NOM DU FICHIER

'ROTA

1 0 1

\$ IMPRE NIVEA1 NIVEA2

0 0

\$ NBNNF NBNSD

0.0000000E+00 0.0000000E+00 0.1000000E+01

\$ AXE DE ROTATION

0.1800000E+03 0.1700000E+01 -0.2944486E+01 0.0000000E+00\$ TETA. X. Y. Z.

'RECO

1 0 1

3 0.10000E-02

0

\$ IMP. NIV1 NIV2 NIV3 EPS IOPT

0 0

\$ NBNNF NBNSD

'SAUV

1 3 0

\$ IMPRE NINOPO NTNPO

JA1.NOPO

\$ NOM DU FICHIER

'F

## 9 Bibliographie

- [1] P.L. GEORGE, Modulef: Génération automatique de maillage, Collection didactique n° 2, INRIA, 1988.
- [2] P.L. GEORGE , Modulef : Construction et modification de maillages, Rapport Technique n° 104, INRIA, 1989.
- [3] P.L. GEORGE, A. GOLGOLAB , Mailleur 3D en topologie "cylindrique", Rapport Technique n° 100, INRIA, 1988.
- [4] P.L. GEORGE , Mailleur 3D par découpage structuré d'éléments grossiers, Rapport de Recherche n° 990, INRIA, 1989.
- [5] P.L. GEORGE , Utilisation conversationnelle de Modulef, Rapport Modulef n° 108, INRIA, 1989.
- [6] P.L. GEORGE, A. GOLGOLAB, B. MULLER, E. SALTEL , Bibliothèque Modulef : aspects graphiques, Rapport Modulef n° 96, INRIA, 1987.
- [7] MODULEF ET ALL, Description des Structures de Données, Rapport Modulef n° 2, INRIA, 1989.